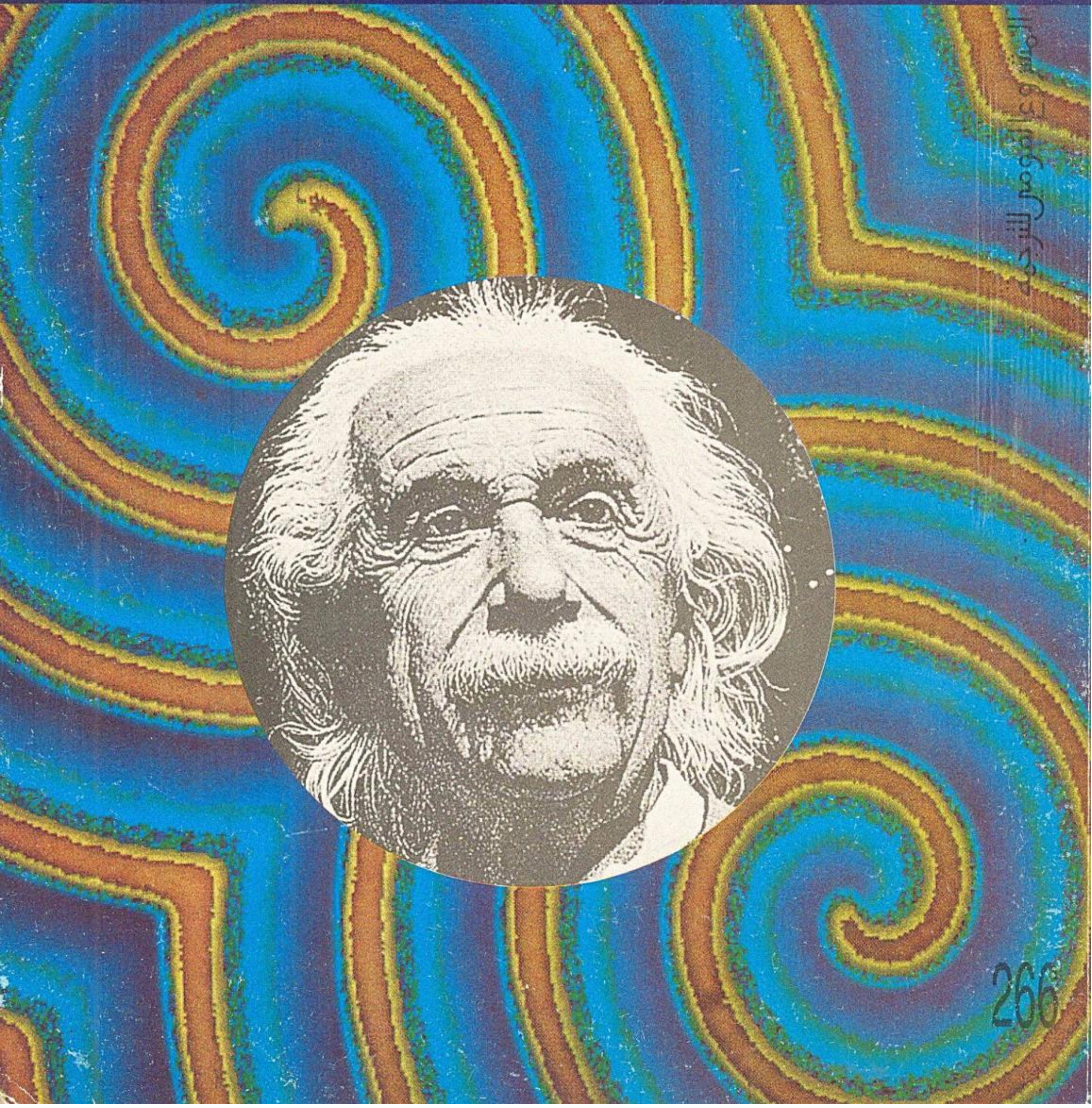
المجلس الأعلى للثقافة

جون جريبين

الكشف عن حافة الزمن

ترجمة : علي يوسف علي



266

المشروع القومى للترجمة

الكشف عن حافة الزمن

تأليـف

جون جريبن

ترجمة

على يوسف على

المجلس الأعلى للثقافة

٢٠٠١

Unveiling The Edge of Time

John Gribin

مقدمة المترجم

عزيزى القارئ الكريم .

لا بأس ونحن نودِّع القرن العشرين أن نعود بالذاكرة إلى ذلك اليوم فى مطلعه ، وبالتحديد فى السابع عشر من ديسمبر من عام ١٩٠٠ ، حيث كان العلم على موعد مع التاريخ ، فى هذا اليوم تقدم للجمعية العلمية الألمانية عالم شاب ببحث أراد به أن يحل لغزًا وقف أمامه المجتمع العلمى عاجزًا لفترة طويلة ، إنَّ تجارب الإشعاع الحرارى تأبى أن تطيع التحليل النظرى ، وهى الظاهرة التى أطلق عليها آنذاك : «الكارثة البنفسجية» ، وفى محاولته لإزالة هذا التناقض قدَّم ماكس بلانك فكرة جديدة جريئة . إن منطقنا البديهى ينظر للطاقة على أنها سيال متصل ، فكان بحث بلانك مؤسسًا على معالجتها على أنها مكونة من وحدات لا تقبل التجزئة ، أطلق عليها «كمّات quanta ، المفرد كمٌ quantum» ومن ثم فقد عرفت نظريته بالنظرية الكمُية . ولم يشفع لبلانك أن بحثه قد نجح فى حل التناقض حلاً جذريًا ، فالمجتمع العلمى كان يُبدى نفورًا من الأفكار التى تنظر للطبيعة على أنها مجَّزأة ، ولم يكن قد انقضى وقت طويل على انتحار لودفيج بولتزمان فى موقف مماثل . لقد رأى هذا العالم الفذ أن ظواهر الغازات تقطع بأن المادة مكَّونة من وحدات أولية ، وهى التى نعرفها اليوم باسم الذرة ، ورغم أن هذه الكلمة من مفردات قاموسنا العلمى الأولية اليوم ، فقد يعجب القارئ إذ يعرف أنها أيضًا كانت مجال جدل شديد فى مطلع هذا القرن ؛ لم يتحمل بولتزمان قسوته .

وانسحب بلانك ببحثه من الميدان ، ودخلت النظرية الكمية طور النسيان إلى أن أحياها موظف مغمور فى مكتب براءات جنيف بسويسرا ، لم يكن المجتمع العلمى قد سمع باسمه آنذاك ، عدا من تصادف منهم أن كان مدرسًا له فى الجامعة أو فى المرحلة السابقة عليها ، حيث حاز منهم بشهرة الطالب الذى لا يبشر بخير ، إنه ألبرت آينشتاين ، وأظنه غنى عن التعريف .

لقد تصدى آينشتاين عام ١٩٠٤ لحل لغز ظاهرة أخرى ، وهى الظاهرة الكهروضوئية ، وبلغت به الجرأة أن يؤسس بحثه على النظرية التى رفضها المجتمع العلمى ، وهى النظرية الكمية ، ولولا هذا العمل الجسور لقضت النظرية فترة أخرى فى غياهب النسيان ، ومع تقدم العلم اتضح للعلماء أن قضية التجزئة لا تقف عند الطاقة والمادة ، بل إلى المادة والمسافة ، ومن ثم فكل عناصر الطبيعة تحوز ماهية غير متصلة ، إن العلم يتحدث اليوم عن مسافة بلانك ، وزمن بلانك كما يتحدث عن الذرة والكوانتا كوحدات أولية لا تقبل التجزئة .

ولكن آينشتاين كان له دوره الخاص فى معركة أخرى لا تقل قسوة فى تحديها للمنطق البديهى الإنسانى ، إنها قضية النسبيَّة ، فالزمن والمسافة يتغيران بحسب سرعة المراقب لهما ، وما تراه أنت طويلاً قد يراه غيرك قصيراً ، وما يمر عليك دهوراً قد يمر على غيرك لحظة عابرة ، والأعجب من ذلك ، أن الزمن والمسافة قد تولَّدت بينهما صلة حميمة فى مضمار الكل الذى جمعهما معًا ، ألا وهو «الزمكان» ، فليس من بأس على الإطلاق فى هذا المضمار أن يتحول أحدهما إلى الآخر .

وعلى دعامتين راسختين من مفهومى التجزئة والنسبية تشكَّل العلم فى ثوبه الجديد ، وانفتح على البشرية بما يتجاوز أكثر خيالات البشر جرأة وغرابة . ويكاد المرء يعجز اليوم – وهو يتابع تداعيات هاتين الفكرتين – عن أن يحدِّد أى الأفكار العلمية يقبل وأيها يرفض ، فالوسيلة الوحيدة التى يعرفها البشر للحكم على الأمور – ألا وهى المنطق البديهى – قد أثبتت فشلها الذريع ، إن الحقيقة الوحيدة فى هذا الخضم من المتاهات هى قول الله عزل وجل : (وفوق كل ذى علمٍ عليم) .

وحول هذه التداعيات يدور كتابنا هذا ، ومؤلفه ذو شهرة عريضة فى تبسيط هذه الموضوعات للقارئ غير المتخصص ، فيتناول فى كتابه أكثر ما أفرزه العلم الحديث من إثارة ، إنها الثقوب السوداء التى يثير ذكرها الذعر والهلع بقدرتها الهائلة على التهام كل من يقترب منها ، فهو يتتبَّع بزوغها كفكرةٍ نظريةٍ تأسست على نظرية نيوتن فى الجاذبية ، ثم أفَلَ نجمها لتعود حقيقة علمية مؤسسة على نظرية آينشتاين فى النسبية . ولن نسبق الأحداث حتى لا نصادر على متعة القارئ وهو يجول فى غرائب الخيالات

العلمية التى يعرضها الكتاب ، كل ما نوصى به هو ألا ينسى أن الأمر لم يحُسم بعد لصالح فكرة دون أخرى ، ولعله لن يحُسم على الإطلاق ، فما من باب يفتحه الإنسان على الطبيعة بغُية فهمها إلا وينفتح بدوره على أبواب من الألغاز ، وهو ما عبر عنه أحدهم بالقول : «كلما ازددت علمًا ازددت جهلاً» .

وسوف يظل الإنسان يكدح فى هذه المطاردة مع الحقيقة إلى أن يلاقى ربه ، وإلى أن يحين هذا الحين عليه أن يقنع بالدور الذى اختاره الله له ، دور الباحث الدءوب فى كون الله الرحب ، وأن يتعلم من هذا الكدح معنى الآية الكريمة : (قل لو كان البحر مداداً لكلمات ربى لنفد البحر قبل أن تنفد كلمات ربى ولو جئنا بمثله مدداً) ، صدق الله العظيم .

على يوسف على

القاهرة ، يوليو ١٩٩٩

الفصل الأول

التاريخ القديم

نقابل فيه نيوتن، ونتعلم كيف أن راعى قطيع بائسًا قد اكتشف الجاذبية وانخرط فى الحياة الأكاديمية. نقول وداعاً للقوة الخامسة، ونتعلم كيف نقيس سرعة الضوء، وكيف أن رجلا من القرن العشرين قد استخدم الجاذبية لاقتناص الضوء فى الثقوب السوداء.

تُنتج الثقوب السوداء بفعل الجاذبية ، لقد بدأ العلم الحديث بالسير إسحق نيوتن (١) ، والذى - من بين أشياء أخرى - وضع أول نظرية عن الجاذبية، قبل ثلاثة قرون بقليل. ولأول مرة استطاع العلماء - بتطبيق قوانين نيوتن - أن يفسروا حركة الأجرام السماوية على نفس الأسس التى يفسرون بها حركة الأجسام على الأرض. وإشارة للتماثل التقليدى الشهير ، فإن سقوط التفاحة ودوران القمر حول الأرض يفسًران بنفس المعادلات ، ولقد ضم آينشتاين جاذبية نيوتن فى نظريته النسبية العامة، ويمكن القول بصدق إنَّ الثقوب السوداء هى أجسام تنتمى للنظرية النسبية ، على أن منزلة نظرية نيوتن تظل مشهوداً لها من حقيقة أنه بعد أقل من مائة عامٍ تالية على نشر العمل الرائع Philosophiae Naturalis Mathematica(فلسفة الرياضيات الطبيعية)- والذى يشار إليه اختصارا (Principia البرنسيبيا، أو المبادئ) - أصبحت هذه النظرية

(١) يتجه الرأى الغالب فى الفكر الغربي إلى أن العلم بصورته الحديثة يرجع إلى جاليليو، حين بدأ تجاربه حول الحركة البندولية ، وإلى استخدام التلكسوب في دراسة الفلك ، ولكن رأيا أكثر إنصافا يرى أن الفضل فى ذلك يرجع للحضارة الإسلامية ، فعلى سبيل المثال لا الحصر ، بينما يقال إن مؤسس علم الميكانيكا هو نيوتن ، لا ينكر أحد أن علماء الإسلام قد وضعوا علم "الحيل"، وهو ما يسمى حاليا "نظرية الآلات" ، وما يقال عن علم الميكانيكا يقال عن أغلب العلوم الأخرى - المترجم

صالحة أن تفسر الثقوب السوداء. بطبيعة الحال لم يدرك نيوتن الذى درس الضوء كما درس الجاذبية ، أن معادلاته سوف تتنبأ بوجود أشياء معتمة فى الكون، أشياء لا يمكن للضوء الفرار منها، بسبب طغيان الجاذبية فيها .

فليكن نيوتن :

ولد نيوتن فى وولستورب، لانكولنشاير، فى ليلة عيد الميلاد من عام ١٦٤٢ ، نفس عام وفاة جاليليو جاليلى . (من المفارقات أن ألبرت أينشتاين ، بعد أكثر من قرنين، قد ولد فى نفس عام وفاة العالم الكبير جيمس كلارك ماكسويل ، ١٨٧٩) كان إسحق طفلاً هزيلاً ضئيل الحجم (كان والده يسمى أيضا إسحق ، وقد توفى قبل مولده بثلاثة أشهر) ، أدهش والدته بإصراره على البقاء بعد ولادته ، وقد ظل على هذا الإصرار إلى أن بلغ الرابعة والثمانين من عمره . وتعبِّر الأبيات التالية عن الإجلال الذى حظى به لما قام به من إسهامات فى تأسيس العلم الحديث :

Nature and Nature's laws lay hid in night

God said, Let Newton be! and all was light

وهو ما نحاول ترجمته :

كانت الطبيعة بقوانينها قابعة فى دياجير الظلماء

وإذ قال الرب: ليكن نيوتن؛ عم الجميع الضياء.

وقبل أن يبلغ نيوتن الثانية تزوجت أمه من جديد ، وانتقلت إلى قرية مجاورة، تاركة إياه فى رعاية جدته إلى أن بلغ التاسعة ، حين توفى زوج أمه . وتفسر مأساة هذا الانفصال تقريباً كافة تصرفاته الشاذة عند البلوغ ، بما فى ذلك السرية التى كان يضربها على أعماله العلمية ، والتوتر الشديد حول كيفية قبولها حين تنشر، والانفعال العنيف غير الموضوعى تجاه ما يوجهه له أقرانه من نقد . وبعد وفاة زوج أمه خططت له والدته أن يتولى شئون المزرعة ، وهو عمل أبدى فيه إخفاقاً ، حيث كان يفضلّ القراءة على رعاية القطيع ، ولهذا السبب أعيد للمدرسة فى جرانتثام ، ومنها إلى كلية ترنتى بجامعة كامبريدج، والتى وصل إليها عام ١٦٦١ ، أكبر بقليل من أغلب أقرانه بسبب ما حدث لمسيرته التعليمية من انقطاع .

وتُبيِّن مذكرات نيوتن أنه حتى وهو فى مرحلة الدراسة كان متقدمًا على الأفكار الجديدة ، بما فى ذلك جاليليو ورينيه ديكارت ؛ وتمثل هذه الأفكار بداية النظرة الحديثة للكون كآلة دقيقة منضبطة ، وهى فكرة لم تكن قد اعترف بها فى جامعات أوربا بعد. على أنه احتفظ بهذه الأفكار لنفسه ، واستمر يجرى الأبحاث على الأساس التقليدى المبنى على فلسفة أرسطو ، وحصل على درجته العلمية الأولى فى ١٦٦٥ ، ولم يكن ذلك بتميز غير عادى فى نظر أساتذته ، وفى نفس العام تفجَّر وباء الطاعون الشهير فى لندن، فأغلقت الجامعة أبوابها ، وعاد نيوتن ليقضى جزءاً طيباً من العامين التاليين فى بلدته، إلى أن استؤنفت الدراسة الجامعية .

وكان خلال هذين العامين أن وضع نيوتن قانون التربيع العكسى للجاذبية، ربما مستلهماً إياه من سقوط التفاحة ، وللوصول إلى ذلك ابتدع نوعاً جديداً من الرياضيات؛ التفاضل والتكامل، والذى جعل الحسابات أكثر مباشرة. وكما لو كان هذا ليس بكاف على عبقريته ، طفق يُجرى تجاربه على الضوء ، ويُطلق الأسماء على المناطق المتتابعة لطيفه الذى يشبه قوس قزح المتكون حين يعرض الضوء إلى منشور زجاجى . ولم يكن لأى من هذه الاكتشافات تأثير على الوسط العلمي، حيث لم يُطلع نيوتن أحداً على أعماله . وحين فتحت الجامعة أبوابها من جديد عام ١٦٦٧ ، انتخب زميلا فى ترنتى كولدج . وبحلول ١٦٦٩ كان قد طور بعضا من أفكاره العلمية بالقدر الذى يتيح لها أن تنشر فى مجلة كونيوسنتى .cognoscenti وفى هذا الوقت كانت مقدرته العلمية قد أخذت تلفت الانتباه ، على الأقل لدى الأساتذة فى كمبردج، وحين قرر الأستاذ إسحق بارو التقاعد عن كرسى رئاسة قسم الرياضيات فى ١٦٦٩ للتفرغ للنشاط الدينى أوصى بأن يخلفه نيوتن . وهكذا شغل نيوتن المنصب وهو فى السادسة والعشرين، ليكون له مدى الحياة (إذا رغب فى ذلك) ، متحرراً من أعباء التدريس، عدا محاضرة كل عام. وبالمناسبة ، فإن الذى يشغل هذا المنصب الآن هو ستيفن هوكنج . Stephen Hawking

وفى الفترة ما بين ١٦٧٠ و١٦٧٢ طَّور نيوتن أفكاره عن الضوء لتكون الجزء الأول من عمله الملحمى "الضوئيات "Optics ، على أن هذا العمل لم ينشر إلا فى ١٧٠٤ ، تأخير نتج عن أكثر شجار شخصى تأثيراً فى مسيرة نيوتن العاصفة .

وقد ثارت المشكلة حين بدأ ينشر أفكاره الجديدة فى الجمعية الملكية Royal Society التى تأسست عام ١٦٦٠ لتكون المحفل الأساسى للتواصل بين العلماء، كان الشجار بينه وبين روبرت هوك Robert Hook، وقاد إلى أكثر ملاحظات نيوتن شهرة، والتى بيّنت الأبحاث الحديثة أنه قد أسيء فهمها على مدى ثلاثة قرون .

على أكتاف العمالقة :

كان بداية تعرف الجمعية الملكية على نيوتن بسبب أعماله عن الضوء، ليس لنظريته عن تكوين الألوان ، ولكن عن طريق أعماله التجريبية التى أدت إلى ابتكاره تلسكوبا يركز فيه الضوء عن طريق المرايا بدلاً من العدسات. ويُستخدم التصميم إلى يومنا هذا، تحت اسم "عاكس نيوتن Newton's reflector". ولقد أعجب هذا المحفل العلمى بالاختراع حين رأوه عام ١٦٧١ لدرجة انتخابه زميلاً للجمعية فى العام التالى ، وانفعالاً بهذا التقدير، قدم نيوتن بحثاً عن الألوان . كان هوك فى ذلك الوقت يعتبر مرجع الجمعية الأول فى مسائل الضوء ، فانبرى للبحث بنقد يثير أى باحث شاب، ناهيك عن نيوتن . ولما كان نيوتن غير مهيأ للتعامل مع النقد – ولم يصبح أبداً كذلك – فقد كانت هذه التجربة مع الطريق الشرعى للتواصل العلمى سبباً فى إيثاره الانسحاب عن هذا الطريق ، ولما يمض على انضمامه للجمعية عام واحد، مكتفياً بالانزواء فى كرسيه فى كامبردج .

ولكنه عند زيارته للندن عام ١٦٧٥ سمع أن هوك يقول بأنه أصبح متقبلاً لرأى نيوتن عن الألوان، فشجعه ذلك على أن يتقدم بورقة بحثية ثانية عن الضوء ، تضمّنت وصفا للحلقات الملونة التى تعرف الآن باسم حلقات نيوتن ، والتى تنتج حين تعترض الضوء الصادر من عدسة طبقة رقيقة من الهواء . وعلى الفور جأر هوك بالشكوى ، علانية وسراً ، بأن هذا البحث مسروق منه شخصيا ، وأنكر نيوتن ذلك ، ثم قام بهجوم مضاد بأن آراء هوك على أية حال مؤسسة أساساً على أفكار رينيه ديكارت .

وكان الموقف يتصاعد بسرعة إلى صدام حاد، إلى أن قام هوك (ربما بضغط من الجمعية) بكتابة خطاب يمكن للقارئ حسن النية أن يعتبره خطوة للتصالح، ولكنه كرّر بين السطور ادعاءاته التى تقول بأن نيوتن، على أحسن الفروض، قد ربط بين أفكار مشتتة. هنا أعطى نيوتن ملاحظته التى تقول بأنه إذا كان يرى أكثر من غيره، فذلك لأنه يقف على أكتاف العمالقة On the shoulders of Giants .

وفُسِّرت الملاحظة طويلاً بأنها دليل على تواضع نيوتن ، وأنه يشير إلى أعمال كبلر وجاليليو وديكارت ، اعترافا بكونها الأساس الذى بنيت عليه قوانينه عن الحركة ونظريته عن الجاذبية ، ولكن هذا التفسير ، رغم كونه قد لقى ارتياحاً لدى الأجيال التالية، يبدو غريباً ، حيث إن نيوتن لم يكن قد نشر هذه الأعمال بعد فى ذاك العام، كما أن إلصاق صفة التواضع إلى شخصية هجومية، بل ومتعالية ، أمر بعيد الاحتمال. ماذا كان المقصود إذن من تلك العبارة ؟

فى ١٩٧٨ أقامت جامعة كمبردج احتفالية بمناسبة مرور ثلاثة قرون على نشر البرنسيبيا ، وبهذه المناسبة نظمت لقاءً استمر أسبوعا كاملا دعت إليه لفيفًا من أشهر العلماء على مستوى العالم، بغرض تحديث قصة الجاذبية. وقد قدم الفيزيائى البريطانى جون فولكنر John Faulkner خلال ذلك الاجتماع رأيه المقنع حول المقصود بهذه العبارة بناء على تفحصه الدقيق لوثائق العداء الذى ثار بين نيوتن وهوك ، لقد ذهب إلى أن نيوتن لم يقلها عن تواضع ، بل عن غرور ، وأنه بكل تأكيد لم يكن يشير إلى أمثال جاليليو أو كبلر ، أو عن عمله بخصوص الجاذبية ، بل عن عمله فى موضوع الضوء .

وقد كانت الإشارة إلى العمالقة فى الواقع أمراً شائعًا فى عصر نيوتن، وكان المقصود بهم فى الغالب هم الإغريق، إذ كان علماء ذلك العصر (ومن المحتمل أن يكون من بينهم نيوتن نفسه) ينظرون لأعمالهم على أنها ليست إلا صياغة أكثر تفصيلا لما قدمه الأوائل ، وقد بدا أن اختيار نيوتن لكلمات خطابه إلى هوك فى ٥ فبراير ١٦٧٥ كان دقيقاً للغاية ، أخذاً فى الاعتبارسوء التفاهم الذى كان بينهما من جهة ، ومن جهة أخرى أن هوك نفسه لم يكن يتميز بمظهر جذاب .

فمن واقع ما جاء على لسان معاصرى هوك ، ومنهم أصدقاء له ، كوَّن فولكنر صورة عنه تقترب من شخصية ريتشارد الثالث فى مسرحية شكسبير ، غريب الشكل بصورة ملحوظة ، بل أقرب إلى القزم فى الطول، وبإضافة بعض الخيال للموضوع، يمكن وصفه بأنه كان قميئاً .

ورأى فولكنر أن عبارة نيوتن التى يشير فيها للعمالقة يمكن فهمها على ضوء مخالف تماماً ، ولنضع فى الحسبان أن الخطاب لم يكن مكتوبًا على عجل، بل مصاغًا بكل عناية إلى الجمعية الملكية من أجل إنهاء نزاع بين زميلين لها ، مما سبب لها الحرج

كثيراً ، وقد راعى نيوتن هذا الأمر تماماً ، إلا أنه فى نفس الوقت قد راعى ما بين السطور . وإليك الألفاظ كما يرى فولكنر تفسيرها :

"إن ما قام به ديكارت كان عظيما" (التفسير : لقد قام بذلك قبل أن تقوم أنت به) "وقد أضفتَ الكثير بطرق متعددة، خاصة فى الاعتبارات الفلسفية فى قضية الألوان" (التفسير : كل ما قمت به هو السير على خطى ديكارت) "وإذا كنتُ قد رأيت ما هو أبعد فذلك لأننى وقفت على أكتاف العمالقة" (التفسير ، ومع ملاحظة أن كلمة Giants أى العمالقة قد كتب أول حرف منها كبيرا، فإن المقصود يكون: إن أعمالى يعود الفضل فيها إلى أعمال القدماء ، وليس إلى قمىء مثلك)" .

وإذا ما أخذنا الخطابات المتبادلة بظاهر القول فيها ، فقد أدت غرض الجمعية تماماً ، بإلقاء الماء على النار المشتعلة، وإعادة الاحترام لها .

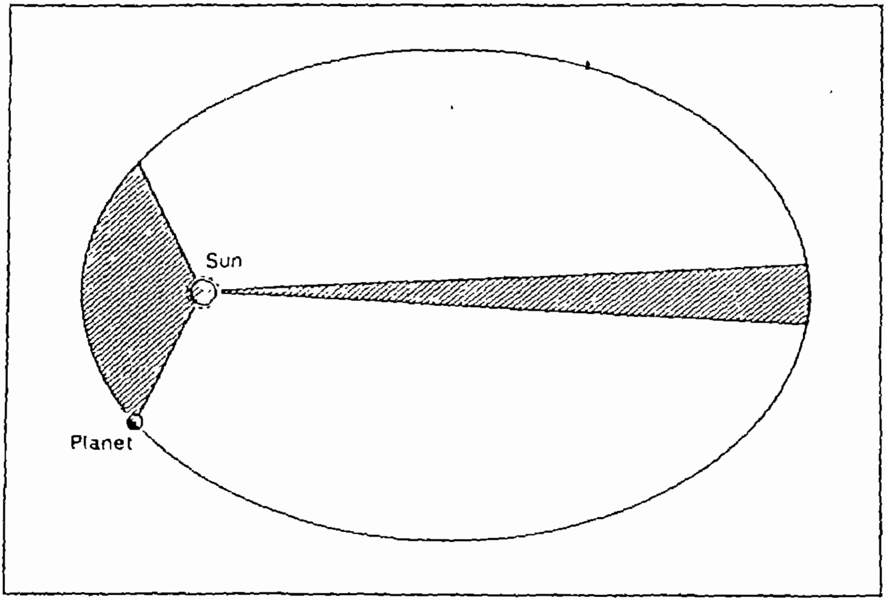
على أن الأثر المباشر كان انزواء نيوتن بدرجة أشد، وتفضيله الانتظار صابراً إلى أن توفى هوك عام ١٧٠٣ ، وقام بنشر كتابه عن الضوئيات فى العام التالي، مطمئنا أن تكون له الكلمة العليا فى الموضوع. وأما نشر كتابه الثاني؛ البرنسيبيا عام ١٦٨٢ ، فلم يحدث إلا بإلحاح من صديقه إدموند هالى ، ذى الشهرة بالمذنب المسمى باسمه ، وكان لب العمل قد بلغ حينئذ عشرين عاماً من القدم .

قوانين ثلاثة ، ونظرية عن الجاذبية :

تضمنت برينسيبيا نيوتن ما أصبح يعرف بأسس الميكانيكا الكلاسيكية، ثلاثة قوانين عن الحركة ، ونظرية عن الجاذبية . وكانت الأكتاف التى وقف عليها فى الواقع هى لجوهانز كبلر Johannes Kepler ، فلكى ألمانى نشر قانونين يعرفان باسمه عام ١٦٠٩ . وقد صاغ كبلر نفسه هذه القوانين بعد تمحيص شاق لجداول وضعها دان تيكو براهى Dane Tycho Brahe الذى كان مستقراً فى براغ ، وكان كبلر مساعداً له، وقد توفى عام ١٦٠١

وينص قانونا كبلر الأول والثانى على أن مدار الكواكب حول الشمس ليس دائرياً، بل إهليلجيا تقع الشمس عند أحد قطبيه ، وأن المساحة التى يقطعها الخط الواصل بين الشمس وأى كوكب يمسح مساحات متساوية فى الأزمنة المتساوية ، وعلى هذا الأساس يكون الكوكب أكثر سرعة حين يكون أقرب من الشمس، منه حين يكون فى

الجانب الأبعد عنها ، أى مقابل القطب الآخر، كما هو مبين فى (شكل ١ - ١) ويربط قانون ثالث نُشر بعد عدة سنوات بين زمن دورة الكوكب وقطر مساره .



(شكل ١ - ١) كوكب يدور فى مسار إهليلجي حول الشمس ، فتكون سرعته أكبر وهو بالقرب منها ، عنه حينما يبتعد عنها ، طبقًا لقاعدة المساحات المتساوية التى وضعها كبلر .

كانت كل هذه الحقائق تدعو للاندهاش والحيرة عند علماء القرن السابع عشر ، الذين حاولوا دون جدوى فهم الأساس الذى تقوم عليه . وقد تمت مراسلات بين نيوتن وهوك حول تصرف الأجسام تحت تأثير الجاذبية ، وهو ما دفع هوك بعد ذلك إلى اتهام نيوتن بأنه قد سرق منه قانون التربيع العكسي. ويمكننا بسهولة تصور دهشة هالى حين زار نيوتن فى كامبردج فى أغسطس ١٦٨٤ وأخبره بأنه مهتم بمسألة حركة الكواكب حول الشمس ، ففاجأه نيوتن بأنه قد حل المشكلة منذ عدة سنوات ، وتحت إلحاح من هالى بأن هذا الكشف لابد أن يُعلن ، أرسل نيوتن بعد ثلاثة أشهر بحثًا موجزًا عن الموضوع له ، اعتبره هالى غير كاف بالمرة . وما أن اقتنع نيوتن بنشر

أفكاره حتى انكب على ذلك البحث تنقيحاً وتعديلا لعامين كاملين ، حتى تطور الأمر إلى وضع كتاب ضخم، نشر باللغة اللاتينية عام ١٦٨٧ (غالبًا على نفقة هالى) ، أما نشره باللغة الإنجليزية فلم يتم إلا بعد وفاة نيوتن بعامين ، أى فى ١٧٢٩

على أن نيوتن لم يكشف حتى فى هذا الكتاب عن كل أسراره ، فرغم أنه من المتفق عليه أنه قد استخدم رياضيات التفاضل والتكامل التى وضعها من قبل ، إلا أن عرضه للموضوع كان على أساس الرياضيات التقليدية - ربما كان ذلك لعدم ثقته فى قدرة زملائه على فهم هذا النوع الجديد من الرياضيات - على أن ذلك قد تسبب فى عاصفة أخرى من الشجار ، هذه المرة مع عالم الرياضيات فيلهلم لايبنز Wilhelm Leibnitz الذى توصل أيضًا إلى هذا النوع الجديد من الرياضيات ، ونشر عنه كتابًا عام ١٦٨٤ . وليس لدى أحد شك اليوم لا فى سبق نيوتن له ، ولا فى أن لايبنز لم تكن له أية دراية بما توصل إليه نيوتن، وعلى ذلك فإن الفضل ينسب لهما معا فى وضع رياضيات التفاضل والتكامل ، إلا أن الموقف قد تمخض عن إحدى العداءات الحادة الأخرى التى انخرط فيها نيوتن .

على أن قصتنا الحالية تُعنى بما قدمه نيوتن لا ما أغفله ، فقبل ذلك تقبل العلماء نظرة أرسطو بأن مآل كافة الأجسام هو السكون ، وأن الحركة أمر عارض يكون بسبب قوة خارجية . وقد بيَّن نيوتن أن هذا مقصور على حالة الأجسام الموجودة على سطح الأرض، لكونها تحت تأثير جاذبيتها ، وقد صاغ قانونه الأول بأن الأجسام تظل على حالتها ، إما ساكنة أو متحركة بسرعة ثابتة فى اتجاه ثابت ما لم تؤثِّر عليها قوة خارجية (١) . وينص قانونه الثانى على أن معدل التغيير فى مقدار السرعة أو اتجاهها، والذى يطلق عليه "العجلة، أو التسارع acceleration" يتناسب طرديًا مع القوة المسلطة عليه ، كما ينص القانون الثالث على أنه لكل فعل رد فعل مساوٍ له فى المقدار ومضاد له فى الاتجاه ؛ فإذا ما دفعت قلما بإصبعى على سبيل المثال، أو ضغطت بإصبعى على سطح المكتب ، فإن إصبعى سوف يشعر بردّ الفعل عليه كقوة تدفع به فى الاتجاه المضاد . وعلى ذلك فإذا كانت قوة الجاذبية تجذب الأجسام إلى منتصف الأرض، فإن ثقل الأجسام على سطح الأرض يتسبب فى رد فعل من الأرض تدفع بالأجسام الواقفة عليها فى الاتجاه المضاد بنفس القيمة ، والقوتان متعادلتان ، فتلغى

(١) يسمى ذلك بقانون القصور الذاتى inertia - المترجم .

كل واحدة منهما الأخرى ، ولا يتمخَّض عنهما حركة، إلا إذا سقطت من مكانٍ مرتفع ، أو قفزت من النافذة ، فإذا ما حدث شيء من ذلك فإن الألم الذى تشعر به ليس بفعل الجاذبية، بل بسبب رد فعل الأرض الذى يلغى تأثير الجاذبية ويوقفك عند سطحها .

وباستخدام قوانينه وقوانين كبلر، فسَّر نيوتن حركة الكواكب حول الشمس، وحركة الأقمار حول كواكبها كالأرض والمشترى ، نتيجة للتجاذب بين الجسمين طبقا للقانون الشهير ، قانون التربيع العكسى . فالكوكب حينما يكون أقرب للشمس تزداد سرعته بسبب تعرضه لقوة جذب من الشمس أكبر مما يتعرض لها حين يبتعد عنها ، الأكثر من ذلك أن نيوتن بيَّن أن هذه العلاقات ليست قاصرة على النظام الشمسى ، بل سارية على كافة أرجاء الكون ، وأفضل مثال لهذا هو ما ضربه نيوتن نفسه .

حينما أشرت لشىء ساقط بفعل الجاذبية كنت بالفعل أفترض أن الجاذبية تقوم بتأثيرها بنفس الصورة بالنسبة للكواكب وللأشياء الساقطة على الأرض على حد سواء ، وفى حين أن هذا يعتبر من الأمور المألوفة اليوم ، فإن الأمر لم يكن على هذه الشاكلة وقت نيوتن ، فقد كانت فكرة كهذه تتسم بالثورية . كما أننى ذكرت أن قوة الجاذبية الأرضية تعمل كما لو كانت كتلة الأرض مركزة فى مركزها، وبالفعل فالمسافة التى تقاس تطبيقًا لقانون التربيع العكسى تُؤخذ من مركز ثقل الأشياء المتجاذبة ، سواء أكان الشيئان المتجاذبان هما الشمس وكوكب فى نظامها ، أو الأرض وشىء فوق سطحها، أو أى جسمين متجاذبين فى الكون ، ولقد أثبت نيوتن ذلك، جاعلاً منه حجر الزاوية فى نظريته عن الجاذبية ، وأصعب شىء إثباتًا ، خاصة بالمنهج الذى اتبعه فى كتابه، أى بدون استخدام المعادلات التفاضلية . كما أن نيوتن قد علم أيضًا أن الجاذبية الأرضية سوف تجعل الأجسام الساقطة تقطع مسافة ستة عشر قدمًا خلال الثانية الأولى من سقوطها (لقد استخدمت المقاييس الإنجليزية العتيقة لأنها التى استخدمها نيوتن بالفعل) . ويعتبر القمر على مسافة من مركز الأرض أكبر من مسافة تفاحة على سطحها بستين مرة ، وطبقًا للقانون الأول ومفهوم القصور الذاتى فإن القمر "يود" لو يظل منطلقًا بسرعة ثابتة وفى اتجاه ثابت ، أى فى خط مستقيم . فتغيير اتجاه حركته ، حتى ولو ظلت السرعة ثابتة فى مقدارها ، يتطلب قوة خارجية ، وطبقا لقانون التربيع العكسى فإن قوة جاذبية الأرض للقمر تسبب فى تغيير اتجاهه بحيث تحرفه كل ثانية بمقدار الستة عشر قدما مقسومة على مربع العدد المذكور، أى

على ٣٦٠٠ . هذا الحيود يتسبب – حين يُؤخذ فى الاعتبار بُعد القمر عن الأرض – فى دورانه مرة كل شهر .

هكذا فسر نيوتن سقوط التفاحة ودوران القمر حول الأرض بنفس القوانين، وحين فعل ذلك أزال الغموض الذى كان يحيط بحركة الأجرام السماوية ، وفتح أعين العلماء على أن القوانين التى تُطبق على كافة أرجاء الكون هى من نفس جنس القوانين التى تُكتشف فى المعامل على سطح الأرض . ويعتقد العديد من العلماء اليوم أنه من المحتمل وضع نظرية جامعة ، بمعنى أنها تضم مجموعة من القوانين تفسر كافة الجسيمات والقوى المعروفة فى الطبيعة . ولو تحقق ذلك فسوف يعتبر تتويجاً للمسيرة التى بدأها نيوتن منذ ثلاثة قرون . وبمعنى معين ، يمكن القول بأن ذلك سيعنى اكتمال طريقه ، ووصول الفيزياء النيوتنية إلى آخر مطافها ، ولكننا سوف نبيِّن أن ذلك لا يعنى بالضرورة المقدرة على تفسير كل شىء فى الكون .

وحتى فى عصر نيوتن ، كان من المعروف أنه لا بد من وجود مستوى من الفهم كأساس لقانون التربيع العكسى الشهير . لقد بيَّن نيوتن أن القوة تتضاءل بمعدل يتناسب مع تربيع المسافة التى تفصل الجسمين المتجاذبين ، ولكن ، لماذا هذه الصورة من العلاقة التربيعية بالذات ؟ لماذا لم تكن تكعيبية ، أو أية صورة أخرى من العلاقات ؟ لم يكن نيوتن يملك الإجابة ، ويبدو أنه لم يكن يعنيه تعليل ذلك ، لقد كان سعيداً أن يفسر كيف تعمل الجاذبية ، دون أن يعنيه لماذا تقوم بعملها بهذه الكيفية بالذات . لقد استغرق الأمر قرنين من الزمان بعد نشر البرنسيبيا لحل هذا اللغز ، ولكن مهما كانت طبيعة التعليل ، فإنه لا جدال أن الجاذبية تخضع بالفعل لقانون التربيع العكسى .

اختبار الزمن :

تتناسب قوة التجاذب عكسيًا مع تربيع المسافة بين الجسمين المتجاذبين، مقاسة من مركز كل منهما ، كما تتناسب هذه القوة طرديًا مع كتلة الجسمين ، والقوة التى تمارسها الأرض على الأجسام الموجودة فوقها هى التى نطلق عليها ثقل الجسم، أو الوزن . فكل جرام على سطح الأرض يتعرض لنفس القوة فى جذبها له ، ومن ثم فكلما احتوى الجسم على كمية أكبر من الجرامات زاد جذب الأرض له ، بمعنى أنه كلما زادت الكتلة زاد الوزن ، ولكن الأمر سوف يختلف بالنسبة لهذا الجسم فى مكان آخر خلاف الأرض ؛ فعلى سطح القمر ، وعلى الرغم من كون الجسم له نفس الكتلة، أى

نفس عدد الجرامات ، فإنه سوف يتعرض لقوة جذب أقل، بسبب قلة كتلة القمر ، وبالتالى سيكون وزنه أقل . ولما كانت كتلة القمر أقل بمقدار السدس عن الأرض ، فإن أوزان الأشياء سوف تكون أقل بنفس المقدار .

ولقد وُضعت هذه الفكرة محك الاختبار المباشر فعلاً ، فقد هبط الإنسان على سطح القمر ، وشوهد هذا التغير فى الوزن عياناً . ولم يكن هناك أدنى شك فى ذلك ، فالمركبة الفضائية ذاتها قد خضعت لقوانين نيوتن فى مسارها للقمر ، ولولا صحة هذه القوانين لما وصلت لهدفها .

ورغم ذلك فقد سرت فى الثمانينات موجة من التشكيك فى صحة قانون نيوتن، تسربت أنباء منها لوسائل الإعلام ، فقد ذهب رأى إلى أنه عند مستوى أدق يُحتمل ألا يكون نيوتن محقًا تمامًا ، وأن حيودًا ضئيلاً عن قانون التربيع العكسى يمكن أن يتسبب فى فرق ضئيل فى حساب المسافات ، حتى ولو كان هذا القانون ناجحاً بصورة مرضية فى حساب مسارات الكواكب. ولقد اتضح أن هذه الإثارة كانت على غير أساس، على أنه بسبب كل هذا الضجيج فإن قانون نيوتن للجاذبية قد مُحِّص أكثر من ذى قبل ، وقد أتى ذلك به متعدد الألوان .

من الزوايا التى يمكن أن ينظر منها للأمر موضوع "ثابت التناسب" والذى سوف نعطيه الرمز "ث"، فإذا كانت قوة الجاذبية تعمل بنفس القدر على كل جرام من الأجسام، فإن قوة الجذب الكلية على جسمٍ ما يمكن حسابها بضرب كتلة الجسم فى هذا المقدار الثابت الذى يعبر عما تمارسه الأرض من جاذبية على كل جرام، وبقسمة الناتج على مربع المسافة بين الجسم والأرض . إن أحد مظاهر نفاذ بصيرة نيوتن هو ما قرره من أنه رغم أنه يتعامل مع كتل مختلفة ومسافات مختلفة (كحالة كتلة الشمس فى تجاذبها مع الأرض على مسافة مائة وخمسين مليونًا من الكيلومترات) ، فإن ثابت التناسب هو ذاته فى كافة الأحوال . على أن نيوتن لم يقم بالحديث عن هذا الثابت مباشرة فى مؤلفه ، إذ كان عرضه للموضوع عن طريق النسب، وهو ما يلغى ثابت التناسب .

وفى الثلاثينيات من القرن الثامن عشر قام عالم فرنسى هو بيير بوجوى Pierre Bouguer بقياس كثافة الأرض عن طريق قياس انجذاب ثقل إلى جبل، ولكن القياسات الدقيقة حقًا أُجريت خلال التسعينات من نفس القرن ، بعد حوالى مائة عام من نشر البرنسيبيا ، قام بها عالم الفيزياء البريطانى هنرى كافنديش Henry Cavendish الذى كان أكثر تحفظًا من نيوتن فى نشر أبحاثه .

كان كافنديش إنساناً غريب الأطوار يميل للعزلة ، نشر القليل خلال حياته (توفى عام ١٨١٠ عن سبعة وثمانين عاماً) . وقد كان باستطاعته تدبير أموره فى هذه الظروف بسبب ثرائه وثراء أسرته الفاحش ، والذى مكّنها بعد وفاته من إقامة المعمل المنسوب إليه فى كمبردج تخليداً لذكراه . وبدراسة أوراقه العلمية بعد حين من وفاته اتضح أنه قام بأبحاث فى الكهرباء ، قام بها علماء من بعده، من ذلك المقاومة الكهربية . وقد قام بنشر أبحاثه العالم جيمس ماكسويل James Maxwell أول مدير لمعمل كافنديش ، وذلك عام ١٨٧٩ . على أن أبحاث قياس الجاذبية نشرت خلال حياة كافنديش ، عام ١٧٩٨ . وكمثل أعمال بوجوى من قبله ، كان الأساس هو قياس كتلة وكثافة الكرة الأرضية ، دون إشارة مباشرة لثابت الجاذبية ، والذى يمكن حسابه من نتائج تلك القياسات ، وهو ما يبرر اعتبارها الطريقة الكلاسيكية لحساب هذا الثابت ، لا تزال متبعة إلى اليوم ، بالقليل من التعديلات .

يتكون الجهاز المستخدم ، والمسمى "ميزان اللى "torsion balance (والذى يرجع تصميمه الأصلى إلى جون ميتشيل الذى سوف نلتقى به بعد قليل) من قضيب دقيق ، معلق من منتصفه بخيط، وثقلين عند طرفيه (استخدم كافنديش لذلك كرتين من الرصاص) ، وضعت كرتان أكبر حجماً (من الرصاص فى جهاز كافنديش) على زاوية من القضيب، بحيث تؤدى قوة التجاذب بين الكرات الصغيرة والكبيرة إلى دوران القضيب . وقد قاس كافنديش زاوية الدوران عن طريق نظام من المرايا ، واستنتج من ذلك قوة الجذب الواقعة على الكرتين الصغيرتين نتيجة الكبيرتين ، وقد اتضح أن قوة جاذبية الأرض للكرات الصغيرة أكبر بخمسمائة مليون مرة قدر قوة الجذب للكرات الكبيرة . وبمقارنة هذه النتائج توصل كافنديش إلى حساب كتلة الأرض، فكانت ٦×١٠^{٢٤} (رقم ٦ متبوعا بأربعة وعشرين صفراً) كيلوجراما ، وكثافتها خمس مرات ونصف قدر كثافة الماء ، وهو ما أراد معرفته ، وبالضبط كما فى حالة مقارنة القمر بالتفاحة ، فإن ثابت التجاذب يلغى فى هذه القياسات . على أن المعادلة تبين أيضاً ، بعد تحوير بسيط ، أن قيمة الثابت هى ٧×١٠^{-٨} (عدد عشرى مكون من رقم سبعة إلى يساره ثمانية أصفار) بالوحدات المترية ؛ جم ، سم ، ثانية .

ومرت مائة عام أخرى قبل أن يُجرى التحسين على جهاز كافنديش ، وفى التسعينات من القرن التاسع عشر وصل العلماء للقيمة المعتمدة إلى اليوم . وتتضافر الأدلة على أنه ثابت بمعنى الكلمة ، بالنسبة لكافة الأجسام مهما كانت طبيعة المادة

المكونة منها ، بالضبط كما تتضافر تجارب المعامل الأرضية والفلكية على أن قانون التربيع للجاذبية عام لكافة أرجاء الكون . على أنه منذ عهد نيوتن لم يحدث إلا القليل من التجارب لقياس الجاذبية على أبعاد صغيرة تتراوح بين عدة أمتار وعدة مئات من الأمتار- لصعوبة إجراء مثل هذه التجارب - ومن جهة أخرى لعدم الشعور بضرورة لذلك، فما دام قانون نيوتن قد ثبت أنه سارٍ على مستوى المسافات الغاية فى الكبر والغاية فى الصغر ، فهو لا بد سارٍ فى المسافات التى تقع بين هذا وذاك . وكانت هذه هى الثغرة التى تسببت فى الإثارة التى ذكرتها آنفًا .

وقد نتج الشك أن يكون هناك خطأ ما فى قانون نيوتن من التجارب التى أجريت للقياس الدقيق لوزن أجسام على أعماق مختلفة من المناجم، ومتابعة التغير فى هذه القيم كلما ابتعد الجسم عن سطح الأرض . فلو كانت الكرة الأرضية متجانسة تمامًا لكانت قوة الجاذبية كما لو كانت مركزة فى المركز ، إذ أن الجذب فى الطبقات العليا سيكون متوازنا فى كافة الاتجاهات ، ولما حدث تغير فى وزن الجسم على الأعماق المختلفة .

على أن الحادث عمليًا هو أنه لا بد من أخذ التشكيل الجيولوجى للأرض أثناء هذه القياسات ، سواء فى أعماق الأرض أو حتى على سطحها ؛ فالصخور المختلفة لها كثافات مختلفة ، مما يجعل الجذب فى اتجاهٍ ما لا يتعادل مع الجذب فى الاتجاهات الأخرى . لكن القياسات التى أجريت فى منجم بأستراليا قد أدت إلى فكرة أنه على مسافة عدة مئات من الأمتار لن يكون قانون نيوتن دقيقًا تمامًا ، وأن مقدار ثابت الجاذبية سيحيد عن الذى يقاس فى المعامل وفى القياسات الفلكية بمقدار واحد بالمائة. ولقد بدا من القياسات التى أجريت هبوطا فى العمق ، وأيضا على ارتفاعات مختلفة من سطح الأرض ، أنها تؤكد هذه الشكوك ، الأمر الذى دفع ببعض الفيزيائيين إلى الاعتقاد فى وجود قوة خامسة [١] ، تمثل قوة طاردة (جاذبية مضادة) ، بل وربما توجد قوة سادسة أيضًا . ولكن كانت كل هذه الأفكار من قبيل الحرث فى البحر ، فنيوتن كان على حق ، واتضح أن كافة الظواهر التى تخيلها البعض مناهضة له لها تعليلات على أساس من نظريته ذاتها ، إذا أخذ فى الاعتبار التوزيع غير المتماثل للصخور والترسبات الجيولوجية الأخرى المحيطة بمكان إجراء القياسات . فبالنسبة

(١) القوى المعروفة فى الطبيعة أربع ، الجاذبية ، والكهرومغناطيسية ، والقوة النووية الضعيفة ، والقوة النووية الكبيرة ، وتعمل القوتان الأخيرتان على المستوى دون الذرى ، الأولى هى المسئولة عن النشاط الإشعاعى ، والثانية هى المسئولة عن ترابط الجسيمات داخل النواة ضد قوى التنافر فيما بينها - المترجم .

للشواهد التى تمخضت عنها قياسات أستراليا على سبيل المثال اتضح أن سببها فعل الجاذبية لمجموعة من التلال الصخرية على بعد ثلاثة كيلومترات من المنجم ، وهو ما يدل على دقة هذه القياسات .

ولكن تخيُّل القوة الخامسة قد حقق فائدة علمية من جهة أخرى ، إذ كان مناسبة لإجراء المزيد من التجارب الدقيقة فى النصف الثانى من الثمانينات ، وما بذل من جهد خارق لتحسين دقة الأجهزة لتكون التجارب فى مثل تلك الحدود الضيِّقة . وكانت النتيجة النهائية هى المعرفة بدرجة أكبر بمدى ثبات ثابت الجاذبية وصحة قانون التربيع العكسى على مستوى كافة المسافات بلا استثناء، من تجربة تُجرى على سطح مكتب إلى أخرى تُجرى على المستوى الفلكى . إننا نعلم حاليا بعمومية قانون نيوتن للجاذبية بصورة لم تتح لنيوتن نفسه .

ولكن على الرغم من نقص الدليل التجريبى لديه ، فقد كان نيوتن بالقطع يعتقد بعمومية قوانينه ، وحيث إن عمله العظيم الآخر كان فى أبحاث الضوء ، والذى تخيله جسيمات تصدر من مصدره لتنعكس على ما يقابلها من مرايا أو تحيد عن مسارها عند اختراقها للمنشورات والعدسات ، فلنا أن نتصور أنه لم يكن ليتعجب بالمرة من فكرة تأثر الضوء بالجاذبية . ولكن كان على بحث ينشر عن هذه الأعجوبة أن ينتظر لقرن آخر بعد نشر البرنسيبيا، حين تصور نفس الشخص الذى صمم تجربة ميزان اللى ، جون ميتشيل John Michell ، فكرة النجوم السوداء .

عبر النظام الشمسى :

الفكرة المحورية فى هذا الموضوع ، بجانب قانون نيوتن للجاذبية، هى أن للضوء سرعة محددة ، ومن أكثر الحقائق إدهاشاً لأغلب الناس أن يكون قياس سرعة الضوء قد تمَّ بالفعل قبل نشر البرنسيبيا .

لقد أُجريت الحسابات فى السبعينات من القرن السابع عشر، بواسطة العالم الهولندى أول رومر Ole Romer الذى ولد عام ١٦٤٤ وكان يعمل فى مرصد باريس ، بالإضافة إلى أشياء أخرى ، كان رومر يقوم بدراسة أقمار المشترى ، والتى كانت تشغل اهتمام الفلكيين بصفة خاصة لكونها تعتبر نظاماً مصغراً من النظام الشمسى الذى وصفه كوبرنيكس وكبلر . فهذه الأقمار تدور حول كوكب المشترى بنفس الصورة

التى تدور بها الكواكب حول الشمس. وكان أحد رؤسائه هو الفلكى الإيطالى المولد جيوفاني كاسينى Giovanni Cassini الذى قدم إلى باريس في الرابعة والأربعين من العمر عام ١٦٩٩ ليتولى مسئولية الإشراف على هذا المرصد الجديد ، ثم ليكون مواطناً فرنسياً ويغير اسمه إلى جين. كان كاسينى مراقباً ماهراً ، يستخدم أحدث أجهزة الرصد آنذاك ، وقد اكتشف عام ١٦٧٥ الفجوة التى تقسم نظام الحلقات حول المشترى ، والتى تعرف باسمه . على أن أهم مساهماته كانت فى مراقبة أقمار زحل ، وقام بأول حساب معقول للمسافة بين الأرض والشمس ، وكان هذان العملان هما ركيزة رومر فى حساب سرعة الضوء .

من أهم المشاهد وأكثرها إثارةً الانتظام الذى تنخسف به أقمار المشترى حين تدخل مناطق ظل هذا الكوكب ، وحتى قبل أن يغادر إيطاليا قام كاسينى بوضع جداول لمواقيت خسوف الأقمار الأربعة – التى اكتشفها جاليلو عام ١٦١٠ مستخدماً أول تلسكوب فلكى – وهى يو Io وأوربا Europa وجانيميد Ganymede وكاليستو Callisto . كانت تلك الجداول أقرب لمواعيد القطارات ، إذ قام كاسينى بوضعها مستخدماً قوانين كبلر ، مما مكّنه من عمل توقعات لفترات تالية .

على أن رومر لاحظ اختلافات طفيفة لمواعيد الخسوف عن هذه التوقعات ، وحين ركز على القمر يو ، وجد انتظاماً فى تصرفه ، فخسوفه يحدث سابقاً على موعده فى الجدول الخاص به حين تكون الأرض متحركة فى اتجاه أقرب موضع لها من المشترى (الكوكبان فى نفس الناحية من الشمس) ، ولاحقة للموعد حين تكون الأرض متحركة إلى أبعد نقطة عنه (الكوكبان فى ناحيتين متقابلتين من الشمس) .

وحتى بدون معرفة سبب حدوث ذلك ، فقد كان بإمكان رومر أن يقوم بالتنبؤ على أساس الأنماط التى اكتشفها، ففى سبتمبر من عام ١٦٧٩ تنبأ بأن يكون خسوف القمر يو الذى يحل ميعاده فى ٩ نوفمبر متأخراً بمقدار عشر دقائق عن الموعد المقترح طبقاً للحسابات الكلاسيكية ، وهو ما تحقق بالفعل . وقد أدهش رومر زملاءه ببيان أن السبب هو الوقت الذى يقطعه الضوء للوصول للأرض .

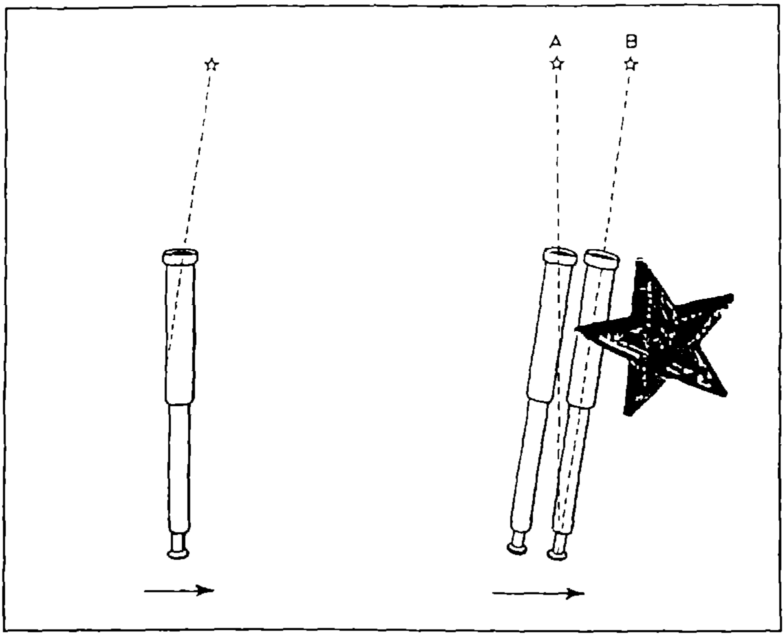
ففى الأشهر السابقة على حدوث الخسوف كانت الأرض تمضى فى مسارها مبتعدة عن المشترى ، ومن ثم فإنه عند حدوث الخسوف السابق ، وإن كان قد حدث فى موعده طبقاً للحسابات، فإن الضوء المنبئ بحدوث ذلك كان أمامه عشر دقائق لاختراق التلسكوب الأرضى فى مرصد باريس .

هنا كان أهم مساهمات كاسيني، دراسة حجم النظام الشمسي . فى عام ١٦٧٢ راقب كاسينى بدقة موضع المريخ أمام خلفية من النجوم فى باريس ، بينما قام زميله جين رتشار Jean Richer بنفس الشيء فى كايين Cayenne ، على الشاطئ الشمالى الشرقى من أمريكا الجنوبية . من هذه القياسات تمكن العالمان من تطبيق قواعد هندسة المثلثات على المثلث الغاية فى النحافة والذى قاعدته تمتد بطول عشرة آلاف كيلومتر من باريس إلى كايين ، ورأسه عند المريخ . ومن ذلك توصل كاسينى إلى بعد المريخ عن الأرض ، ومنه تمكن من حساب مسافات الكواكب الأخرى ، بما فيها الأرض عن الشمس ، مستخدما قوانين كبلر وزمن دوران كل كوكب حولها .

وكان تقدير كاسينى لبُعد الأرض عن الشمس (والذى يعرف اليوم بالوحدة الفلكية) ١٣٨ مليونا من الكيلومترات ، أدق حساب تحقق فى عصره . فتيكو براهى قدر هذه المسافة بثمانية ملايين من الكيلومترات ، وكبلر نفسه قدرها ٢٤ مليون من الكيلومترات ، بينما مقدارها طبقا للحسابات المعاصرة ١٤٩٥٩٧٩١٠ كيلومتر . ومن تقدير كاسينى لمسافات الكواكب عن الشمس، ومن زمن رحلة الضوء من المشترى إلى الأرض الذى قدره من خسوف عام ١٦٧٩ ، حسب رومر سرعة الضوء، ليجدها فى حدود ٢٢٥٠٠٠ كيلومتر فى الثانية. ولو أننا استخدمنا حسابات رومر مع التقدير الحالى لبعد الأرض عن الشمس لوصلنا إلى قيمة ٢٩٨٠٠٠ كيلومتر فى الثانية، والرقم الحالى هو ٢٩٩٧٩٢ ، والذى يغرى بتقريبه إلى القيمة المشهورة : ٣٠٠ ألف كيلومتر فى الثانية . ومهما كانت الأرقام التى تمخَّضت عنها حسابات رومر ، فإن الوقع الحقيقى لعمله كان فى إظهار أن الضوء يحتاج إلى زمن لانتقاله ، وأن الإشارات الضوئية لا تنتقل لحظيًا عبر الفضاء . كان هذا الرأى دراميًا آنذاك لدرجة أن العديد من علماء ذلك العصر رفضوا تصديقه ، ولم يحظ بالاقتناع العام إلا بعد وفاة رومر. لقد توفى رومر عام ١٧١٠ ، وفى ١٧٢٠ قام الفلكى الانجليزى جيمس برادلى James Bradly بقياس سرعة الضوء مستخدمًا أسلوبًا آخر ، ولم يعد مجال للشك بعد ذلك فى هذا الأمر .

وقد وجد برادلى (الذى أصبح ثالث مدير للمرصد البريطانى الملكى بعد وفاة هالى فى ١٦٤٢) أنه حين درس الضوء القادم من النجم البراق جاما دراكونيس Gamma Draconis فى سبتمبر كان عليه أن يدير التلسكوب قليلا ليحصل على رؤية أفضل؛ كتلك التى يحصل عليها فى مارس . بدا الأمر كما لو كان النجم يتأرجح بين موضعين

خلال العام ، وهى ظاهرة تسمى "الزيغ "aberration ، وهى عامة لجميع النجوم. وقد ربط برادلى بين هذه الظاهرة وبين حركة الأرض فى الفضاء ، فالإدارة للتلسكوب مطلوبة للسماح للضوء بأن يقطع الزمن الإضافى ، والذى يبلغ جزءاً ضئيلاً من الثانية (شكل ١ – ٢) . قاس برادلى الإزاحة الزاوية للنجم والتى تنتج عن هذه الظاهرة ، وهى لا تزيد عن قوس مقداره ٢٠ ثانية . وبقياس هذه الإزاحة الضئيلة ، تمكن من قياس سرعة الضوء مقدرا إياها ٣٠٨٣٠٠ كيلومتر، قيمة قريبة للغاية من تقدير رومر ، وكافية للإقناع بمحدودية سرعة الضوء. وبنهاية ذلك القرن قام مفكران، كل على استقلال، بطرق الفكرة المتمخضة عن قانون نيوتن للجاذبية ، ومفهومه عن الضوء ، وآخر تقدير لسرعة الضوء، لحساب كيف يمكن للجاذبية أن تؤثر فى حركة الضوء .



(شكل ١ – ٢) بسبب حركة الأرض فإن التلسكوب يجب تحريكه بزاوية صغيرة لإمكان الحصول على صورة واضحة للنجم ، فهو وإن كان موضعه الحقيقى هو (أ) ، يبدو فى الموضع (ب) ، وهى ظاهرة يطلق عليها "الزيغ" ، ويمكن الاستفادة منها فى قياس سرعة الضوء .

روّاد الثقوب السوداء :

يدرك أى إنسان أتيح له مشاهدة عملية إطلاق مركبة فضائية، حتى لو كان ذلك على شاشة التلفاز، مدى الجهد الخارق الذى يتطلبه وضع شىء فى مدار مستقر فى الفضاء حول الأرض. ويحتاج الأمر لجهد أكثر لتحرير الأشياء كلية من قبضة جاذبية الأرض لتنطلق فى النظام الشمسى ، كمثل المركبة فوياجير التى أمدتنا بكم هائل من المعلومات عن كوكب المشترى وغيره من الكواكب الخارجية . وأفضل طريقة لتصوير الجهد المطلوب للتحرر من الجاذبية هو بيان السرعة الأدنى التى يلزم أن ينطلق بها جسم لكى يتحرر منها ، فلكل مصدر للجاذبية (وهو ما يعنى كل جرم فى الكون) سرعة حرجة يجب الوصول إليها لكى يمكن التغلب على جاذبيته، يطلق عليها "سرعة الهروب "escape velocity وتعتمد هذه السرعة على كثافة الجرم، فالكتلة تزيد من هذه السرعة ، لكن زيادة الحجم يقلل منها، لكون السطح أبعد مسافة من المركز (لا تنس أن الجاذبية تتناسب طردياً مع الكتلة ، وعكسيًا مع مربع المسافة) ، فلو أننا ضغطنا الأرض بقوة سحرية لتكون أقل حجماً مع نفس الكتلة ، فسوف ترتفع سرعة الهروب ، حيث ستكون الجاذبية على سطحها أكبر . وفى المقابل لو أننا نظرنا لجرم أكبر من الأرض كالشمس أو المشترى ، فإن زيادة الكتلة تجعل سرعة الهروب أعلى منها للأرض ، ولكن كبر الحجم سيكون عاملاً مقللاً بقدر ما من هذه الزيادة ، لتكون المحصلة الكلية هى الفرق بين تأثير الزيادة وتأثير النقص .

وتصمم وسائل الإطلاق للمركبات الفضائية بحيث تكتسب سرعة كلما زادت ارتفاعا [(١)] ، ولكن لو تصورنا أن قذيفة سوف تطلق من الأرض مباشرة، فإن وسيلة الدفع يجب أن تكون من القدرة بحيث تعطيها سرعة تساوى ٤٠ ألف كيلومتر فى الساعة، أو ١١ كيلومترا فى الثانية الواحدة، لكى تهرب من الأرض. ولو قلت سرعة الجسم عن ذلك فسوف ترتفع إلى حد معين ثم تسكن ، لتعود للأرض مرة أخرى . أما عند اكتسابها سرعة تساوى أو أكبر من سرعة الهروب ، فإن سرعتها ستقل شيئًا ما ، ولكن القذيفة لن تتوقف ، بل ستواصل انطلاقها بعد التحرر من جاذبية الأرض إلى أن

(١) من الصعب عمليًا إعطاء جسم سرعة تساوى سرعة الهروب وهو على سطح الأرض مباشرة، وقد حلت هذه المشكلة بأسلوب تعدد المراحل في الإطلاق ، فالمرحلة الأولى تعطى المركبة سرعة معينة ، ثم تقوم المرحلة الثانية بزيادة هذه السرعة إلى مستوى أكبر ، وفقط عند المرحلة الثالثة يكتسب الجسم سرعة الهروب - المترجم .

تقع فى قبضة جاذبية جرم آخر . وتبلغ سرعة الهروب للقمر ٨٥٧٠ كيلومتر فى الساعة ، وللمشترى ٢٢٠ ألف كيلومتر فى الساعة (أكبر بقليل من ٦٠ كيلومتر فى الثانية !) .

ماذا لو أمكننا أن نصعد بقذيفتنا إلى سطح الشمس ؟ سوف تكون سرعة الهروب فى حدود مليونى كيلومتر فى الساعة ، وهى سرعة ليست هينة بكل تأكيد، حوالى ٥٧ مرة أكبر منها للأرض ، ولكن من جهة أخرى فهى لا تزيد عن ٢ بالمائة من سرعة الضوء ، ولذا لن يجد الضوء مشكلة فى التحرر من جاذبية الشمس والانطلاق فى الفضاء .

وكان تصور العلماء فى القرن الثامن عشر للضوء هو تصور نيوتن له، جسيمات تنبعث من مصدره ، فكان أمرا بديهياً أن يعتبر متأثرًا بالجاذبية ، شأنه فى ذلك شأن الأجسام الأخرى ، وأن يجذب تأثير سرعة الهروب على الإشعاع الضوئى للنجوم اهتمامهم . لنفرض أن هناك من النجوم ما هو أكبر كثافة من الشمس ، لدرجة أن تكون الجاذبية على سطحه بحيث تكون سرعة الهروب من جاذبيته أكبر من سرعة الضوء ، إن نجماً كهذا سوف يكون غير مرئى على صفحة السماء ، هذا المنطق القوى هو ما قدمه جون ميتشيل فى بحثه عام ١٧٨٣ ، وسبَّب ضجة بين زملاء الجمعية الملكية .

ولد ميتشيل عام ١٧٢٤ ، فكان أصغر من هنرى كافنديش بسبعة أعوام. وكان تقديره بين العلماء الإنجليز تالياً لكافنديش مباشرة ، ولا يزال يذكر إلى اليوم بصفة الأب الروحى لعلم الزلازل ، والذى كان أول من خاض فيه بعد زلزال مدمر ضرب مدينة لشبونة عام ١٧٥٥ ، وقد اختير زميلاً للجمعية الملكية عام ١٧٦٠ ، ووصل لمنصب أستاذ للجيولوجيا فى جامعة كامبردج عام ١٧٦٢ ، ثم اتجه للنشاط الدينى عام ١٧٦٤

ولميتشيل العديد من المساهمات فى علم الفلك ، تضمَّنت أول قياسات واقعية للمسافات بين النجوم ، والرأى بأن بعض أزواج النجوم التى ترى فى السماء ليست وليدة الصدفة ، بل هى ما يطلق عليه "النظام النجمى الثنائى "binary stars ، حيث يدور نجمان حول بعضهما البعض . وأيضا ، كما قدمت آنفا، التصميم الأولى لميزان اللى لقياس ثابت الجاذبية ، وهى التجربة التى توفى قبل أن يرى نتيجتها ، عام ١٧٩٣ . وقد ضاع اسم ميتشيل تقريباً من الذاكرة العلمية خلال القرنين التاسع عشر والعشرين ، لدرجة أن مدخله فى الموسوعة البريطانية لا يتضمن ما يعتبر أكثر أعماله أهمية .

وقد ورد أول ذكر للنجوم السوداء فى بحث لميتشيل قرأه كافنديش على الجمعية الملكية فى ٢٧ نوفمبر عام ١٧٨٣ ، وطبع فى العام التالى فى مجلة الجمعية "Philosophical Transactions of the Royal Society" تضمن البحث شرحًا مسهبًا عن خصائص النجوم من حيث أحجامها وأبعادها وكتلها ، بقياس تأثير جاذبيتها على الضوء المنبعث من أسطحها . كان البحث مؤسسًا كلية على النظرية الجسيمية للضوء التى وضعها نيوتن، وقد عرض ميتشيل للموضوع بما نصه :

> لو وجدت أجسام فى الطبيعة لها كثافة لا تقل عن كثافة الشمس ، وأقطارها أكثر من خمسمائة مرة قدر قطرها ، فإن ضوءها لا يمكن أن يصل إلينا ، على أنه لو أن نجما مضيئا وقع فى مجال تلك الأجسام ، فإننا يمكن أن نستشعر وجودها بتأثيرها على حركته .

إن ما أدركه ميتشيل بلغتنا هو أن نجمًا يبلغ قطره خمسمائة مرة قدر قطر الشمس (أى قطر النظام الشمسى بأكمله) وكثافته قدر كثافة الشمس تكون سرعة الهروب على سطحه هى سرعة الضوء . وعلى الرغم من الإثارة التى سببها هذا البحث بين أعضاء الجمعية ، فيبدو أنها لم تنتشر خارجها بالقدر الكافى . ذلك أن بيير لابلاس Pierre Laplace قد نشر بحثًا مشابهًا فى كتابه "Exposition du systeme du mond" بباريس عام ١٧٩٦ ، يستفاد منه جهله التام بما قام به ميتشيل .

ليس من المستغرب ألا يكون لابلاس متابعًا لما ينشر فى الجمعية الملكية بلندن ، أخذا فى الاعتبار الأحداث الدموية للثورة الفرنسية التى كانت تمر بفرنسا آنذاك ، والتى كان لابلاس مشغولاً خلالها بشق طريقه فى الحياة ، وهو أمر أبدى فيه مهارة فائقة . كان مولده فى نورماندى عام ١٧٤٩ ، لوالد مزارع ، ورحل إلى باريس عام ١٧٦٨ حيث أدهش الرياضى الشهير جيم دالمبير Jeam d'Alembert بإمكانياته ، فعين أستاذا للرياضيات بالمدرسة العسكرية ، واختير زميلا بالأكاديمية الفرنسية للعلوم عام ١٧٧٣ . وقد عمل فى خدمة الحكومة قبل الثورة وبعدها ، وانضم ثم رأس لجنة الموازين والمقاييس التى أدخلت النظام المترى (مكررا فى ذلك مسيرة نيوتن الذى ترأس دار سك النقود الملكية) . وفى عام ١٨١٤ تشمم لابلاس اتجاه رياح التطور السياسى ، فوضع رهانه على الملكية، وكوفئ على ذلك بتقليد لويس السابع عشر له

لقب ماركيز ، وظل نشطاً فى الحياة العامة إلى وفاته عام ١٨٢٧ (قبل شهر واحد على مرور قرن على وفاة نيوتن) ، ومن عجب أن يقوم مثله بأى إنجاز علمى على الإطلاق وسط خضم تلك الأحداث، ولكن الواقع أن إنجازه العلمى كان غزيراً لدرجة ترشحه أن يكون القرين الفرنسى لإسحق نيوتن . وقد قام من وجهة نظر معينة بوضع النقاط على الحروف لتطبيق نظريات نيوتن على النظام الشمسى .

كان نيوتن ذاته متحيراً بشأن مسلك كواكب النظام الشمسى . إن تطبيق قوانينه على جسمين متجاذبين أمر لا يثير مشكلة ما ، ولكن نظامًا يجمع عدة أجسام تتفاعل جاذبياتها ليس بتلك البساطة ، لقد خشى نيوتن أن يؤدى ذلك التفاعل إلى أن تحيد الكواكب عن المسار الذى قال به كبلر لها ، إلى أن تبتلعها الشمس ، أو أن يُقذف بها فى الفضاء الخارجى . لم يكن لديه إجابة شافية عن الموضوع ، ولعله كان يتوقع أن الأمر يتطلب تدخل يد الله القديرة بين الحين والآخر لإعادة الأمور إلى نصابها .

وقد أثبت لابلاس فى منتصف الثمانينات من القرن الثامن عشر أن الحيود فى مسارات الكواكب تتعدل تلقائيًا ، بحيث تتذبذب فى مسار حول المسار النظرى الذى قال به كبلر ، وأنه لا خوف من أن يلقى كوكب من كواكب المجموعة الشمسية أحد المصيرين المذكورين ، ويعتبر ذلك من أهم إنجازات لابلاس .

وكان بحث لابلاس عن "النجوم غير المرئية" كما أسماها قريب الشبه ببحث ميتشيل، عدا أنه قد اتخذ الأرض معياراً لمقارنته بدلاً من الشمس ، فجعل كثافة النجم غير المرئى تبلغ مثل كثافة الأرض ، وقطره ٢٥٠ مرة مثل قطرها .

وقد ظهرت فكرة النجوم غير المرئية فى أول طبعات الكتاب عام ١٧٩٦ ، ثم فى الطبعة الثانية عام ١٧٩٩ . وفى عام ١٨٠١ قام الفلكى الألمانى يوهان فون زولدنر Jo-hann von Soldner بحساب انحناء الضوء خلال مروره قرب نجم ما نتيجة تأثير الجاذبية ، بل واقترح أن تكون نجوم مجرة درب التبانة فى دوران حول "نجم غير مرئى" كالذى قال به لابلاس .

ولكن فكرة النجوم غير المرئية اختفت من طبعة كتاب لابلاس لعام ١٨٠٨ ، ومن كافة الطبعات التالية ، فما الذى أدى به إلى نبذ الفكرة ؟

لقد جاءت أبحاث توماس يونج Thomas Yong الإنجليزى وأوجستين فرزنل Augustin Fresnel الفرنسى تقطع بأن الضوء عبارة عن موجات ، بما لا يدع مجالا للشك فى عدم صحة فرض نيوتن من كون الضوء ذا طبيعة جسيمية .

الموجات والجسيمات ، الاقتراب من علم القرن العشرين :

كان الأساس الذى أوحى لنيوتن بفكرة الطبيعة الجسيمية للضوء هو كونه يسير فى خطوط مستقيمة ، أما الموجات فهى تتذبذب فى مساراتها كما نشاهد عند إلقاء حجر فى بركة ماء ساكنة . ويعتبر تكون الظلال أكبر شاهد على سير الضوء فى خطوط مستقيمة، فحتى على المستوى الكونى يتسبب ذلك فى ظاهرتى الخسوف والكسوف ، فالضوء ليس بإمكانه أن يحيد عن مساره ليمحو ظلا لجسم اعترضه .

على أن يونج وفرزنل اكتشفا أن الضوء بالفعل عبارة عن موجات ، ولكن على مستوى أكثر دقة من الأمثلة المضروبة ، وكانت التجربة الحاسمة هى إمرار الضوء عبر ثقبين صغيرين متجاورين . إن الصورة الناتجة حين تستقبل على حائل تكون عبارة عن أشرطة متتابعة مظلمة ومضيئة ، تعرف بحزوز التداخل، فالموجتان العابرتان للثقبين قد تداخلتا، بحيث تعزز إحداهما الأخرى فى بعض المناطق، بينما يتعارضان فى مناطق أخرى ، لتكون المناطق الأولى مضيئة ، والثانية مظلمة. إن صورة لهذا التداخل يمكن الحصول عليها عند إلقاء حجرين صغيرين متجاورين فى بركة ماء فى نفس اللحظة .

إن عدم الإحساس بظاهرة تداخل الضوء هو احتياجها لمستوى يتلاءم مع الطول الموجى له ، فى حين أن الظواهر التى اعتمد عليها نيوتن تفوق ذلك آلاف المرات. إن الضوء ينحنى بالفعل عن مساره ، ولكن ذلك يحتاج لأبعاد غاية فى الدقة للجسم الذى يعترضه ، كحرف موسى حادة مثلاً .

وعلى ذلك ، فبينما كان كل العلماء تقريباً مقتنعين بفكرة نيوتن عن الضوء عند وفاته فى العشرينات من القرن الثامن عشر ، فإنهم كانوا جميعًا تقريبًا عند وفاة لابلاس فى العشرينات من القرن التالى قد تخلوا عن هذه الفكرة ، واقتنعوا بالفكرة الموجية للضوء . وقرب نهاية القرن قام جيمس كلارك ماكسويل James Clark Maxwell بأبحاث تتنبأ بوجود الموجات الكهرومغناطيسية . فالمجال الكهربى المتولد عن تيار متردد ينتج مجالاً مغناطيسيا ، وهذ المجال يتسبب فى خلق مجال كهربى ، وهكذا دواليك . وقد بينت معادلات ماكسويل سرعة هذه الموجات ، وأنها بالفعل هى سرعة

الضوء كما قيست من قبل ، وهكذا أُكتشف أن الضوء نوع من هذه الموجات ، والتى تضم أيضا موجات الراديو وموجات أخرى .

وعلى ذلك فقد كانت مفاجأة قاسية للعلماء فى بداية القرن العشرين أن يفسر آينشتاين الظاهرة الكهروضوئية على أساس أن الضوء مكون من جسيمات أسماها "فوتونات" photons فهذا هو التعليل الذى وضعه فى عام ١٩٠٥ لانبعاث الإلكترونات من سطح بعض الأجسام المعدنية حين يسقط الضوء عليها ، فهى تنطلق بفعل اصطدام جسيمات الضوء بها ، وليس فى النظرية الموجية للضوء ما يفسر ذلك . وفتح هذا الرأى الباب لإعادة طرح موضوع ماهية الضوء، حتى استقر الاقتناع بأنه ذو طبيعة مزدوجة ، تجمع بين الخصائص الجسيمية والخصائص الموجية ، ونال آينشتاين جائزة نوبل عام ١٩٢١ عن بحثه الذى فسر فيه الظاهرة الكهروضوئية. وهكذا بعد مرور قرنين من الزمان ، أضحى العلماء مقتنعين بصحة رأى كل من نيوتن ويونج عن الضوء .

وتعتبر ازدواجية الماهيِّة بحيث تجمع بين خصائص الجسيمات والموجات أوسع مجالا من دراسة الضوء ، فهى حجر الزاوية فى النظرية الكمية التى تدرس الظواهر فى العالم دون الذرى . وقد بينت الأبحاث فى العشرينيات من القرن العشرين أن الجسيمات دون الذرية ، كالإلكترونات، لها أيضًا طبيعة مزدوجة تجمع بين خصائص الجسيمات وخصائص الموجات . وقد أصبح من المستقر أن كافة الكينونات لها هذه الطبيعة المزدوجة ، على أنها لا تظهر بصورة ملموسة إلا فى العالم دون الذرى . ومن جهة أخرى ، وكما سوف نبيِّن لاحقا ، فقد وجد أن التأثيرات الكمية لها آثارها على الثقوب السوداء .

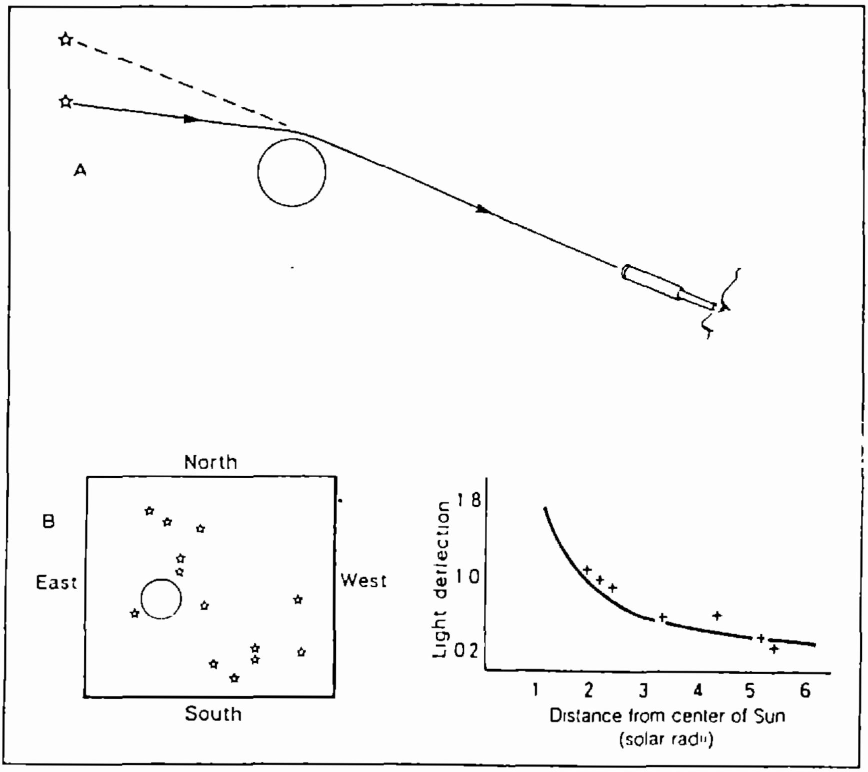
ولم تعصف فكرة آينشتاين عن الضوء بنظرية ماكسويل ، فلا يزال الضوء نوعًا من الموجات الكهرومغناطيسية ، كما أنه نوع من الجسيمات ، كل ما فى الأمر أن تفسير الظاهرة الكهروضوئية يتطلب التركيز على هذا الوجه من طبيعة الضوء ، فالفوتونات تنبعث من الأجسام بسرعة الضوء ، كما تقضي بذلك نظرية ماكسويل .

ولكن ليس فى نظرية ماكسويل مجال لإمكانية انخفاض سرعة الضوء تأثرا بالجاذبية ، وهكذا وجد آينشتاين صعوبة فى التوفيق بين ماكسويل ونيوتن ، الأمر الذى حدا به إلى وضع النظرية النسبية الخاصة لحل هذا التعارض ، والفكرة الرئيسية فى هذه النظرية هى ثبات سرعة الضوء ، بصرف النظر عن سرعة المراقب له أو اتجاه حركته . فهى النظرية التى تقول بأن الأبعاد تنكمش وأن الزمن يبطئ وأن الكتلة تزداد ، كل ذلك بنسبة سرعة الأجسام إلى سرعة الضوء ، وأن الكتلة والطاقة يمكن لكل منهما

أن يتحول إلى الآخر ، والشىء الهام بالنسبة لبحثنا ، أن النظرية قطعت باستحالة تحرك شيء فى الكون بأسرع من سرعة الضوء ، فلو أن جرمًا سماويًا مما تنبأ به ميتشيل أو لابلاس موجود بالفعل ، فإنه ما من شىء على الإطلاق بإمكانه الفرار من قبضته . ومن المهم أن نعلم أن كل هذه التأثيرات قد ثبتت بالتجارب المعملية المباشرة المتعلقة بالجسيمات فائقة السرعة . وإذا كانت نتائج النظرية النسبية تتعارض مع منطقنا البدهى ، فما ذلك إلا لأنها لا تظهر إلا عند سرعات ملموسة بالنسبة لسرعة الضوء ، والسرعات التى نعايشها تقل كثيرًا عن ذلك .

على أن آينشتاين كان مدركًا أنه لم يوفق بعد إلى وضع نظرية متكاملة عن الكون ، حيث إن النسبية الخاصة لم تكن تتحدث إلا عن السرعة المنتظمة ، بمعنى أنها لم تكن تغطى حالة التسارع (العجلة) للأجسام ، ولتحقيق ذلك قام بوضع نظرية النسبية العامة ، عام ١٩١٦ . إنها النظرية التى تصف انحناء الزمكان، وتشرح (بل وتتطلب) وجود الثقوب السوداء فى الكون . لقد بينت النظرية النسبية العامة أنه رغم كون الضوء ينطلق بسرعة ثابتة على الدوام، فإن أجساما كالتى وصفها كل من ميتشيل ولابلاس من شأنها أن تحبسه عن الانطلاق .

وكانت هذه التنبؤات ترديداً لصدى افتراض قدمه فون زولدنر منذ قرن مضى ، على أن تفسير انحناء الضوء بسبب الجاذبية عند مروره بجوار جرم كالشمس يختلف طبقا للنظرية النسبية عنه طبقا لنظرية نيوتن . ولم يعن أحدا أن يجرى تجربة تمحص رأى فون زولدنر فى ذلك، ربما لأن العلماء فى ذلك الوقت كانوا على اقتناع تام بالنظرية الموجية للضوء ، فنظروا لهذه التجربة على أنها بلا جدوى . لقد بين آينشتاين أن انحناء الفضاء بجوار الشمس يتسبب فى انحناء مسار الجسيمات والموجات على السواء ، ولكن كيف يمكن أن يرى شعاع نجم خلال النهار ؟ كان الحل هو انتظار لحظة كسوف كلى للشمس، يمكن خلالها تصوير النجوم التى تقع فى اتجاهها . فلو أن الشمس تعمل بالفعل على انحناء الضوء كما تفعل العدسات ، فإن النجوم سوف تبدو مزاحة عن موقعها بعد ستة أشهر ، حينما تكون الشمس فى الناحية الأخرى من السماء بالنسبة لتلك النجوم . وقد انتُهزت فرصة كسوف عام ١٩١٩ وأُجريت هذه التجربة التى أثبتت صحة نظرية آينشتاين ، وجعلت منه اسمًا عالميًا (شكل ١ – ٣) . لقد كان هذا النجاح حدثا اهتزت له وسائل الإعلام، وظن الناس على غير الحقيقة أن قوانين نيوتن قد انهارت من أساسها .



(شكل ١ – ٣) أ – حينما يمر شعاع نجم بجوار الشمس ، فإنه ينحنى بسبب جاذبيتها . ب – أثناء الكسوف الكلى لعام ١٩١٩ ، قام فريق من العلماء تحت رئاسة آرثر أدنجتون بإجراء قياسات لمواضع النجوم ، وقد أيدت النتائج نظرية آينشتاين تماماً .

وأعاد اكتشاف انحناء الضوء الحديثَ عن الثقوب السوداء ، ولكن الحديث هذه المرة كان حول انكماش نجم كالشمس إلى قطر أصغر من قطرها ، بحيث تصغر المسافة بين السطح والمركز . فنرى أ. أندرسون من **University Collage, Galway** يقول :

لعلنا نلاحظ ، رغم قسوة التخيل، أنه لو أن الشمس
انكمشت إلى قطر ١,٤٧ كيلومترا ، فإن سرعة الهروب
على سطحها سوف يكون من الكبر بحيث لا تشع شيئا

من الضوء . وقتها ستكون الشمس غارقة فى الظلام الدامس ، ليس بسبب افتقادها للضوء ، ولكن لعدم قدرتها على الإشعاع .

ويقول سير أوليفر لودج الذى تقاعد مؤخرا من رئاسة جامعة برمنجهام :

إن جسما ذا كتلة هائلة مركزة يمكن أن يمنع الضوء من الانفلات منه ، ولا يشترط أن يحدث ذلك لجسم منفرد ، فيمكن أن يحدث لنظام نجمى ملىء بالفراغات .

إن ما يشير إليه سير لودج فى الواقع هو أن الأجسام إذا تساوت فى كثافتها ، فإن سرعة الهروب تزيد بزيادة الحجم . فليس البعد عن المركز هو العامل الوحيد لزيادة سرعة الهروب ، بل أيضًا مقدار كتلة الجسم . فبمضاعفتك الكتلة ، والتى هى حاصل ضرب الحجم فى الكثافة ، تتضاعف سرعة الهروب فى تناسب طردى .

إن هذا يعنى أنه بإمكان الثقب الأسود أن يتكون من أى شيء على الإطلاق، أجسام مركزة أو ضخمة الحجم، طالما أن علاقة الكثافة بالحجم تفى بالغرض. وعلى ذلك، فيمكن لنظام شمسى كمجرة درب التبانة الذى نعيش بداخله أن يلعب دور ثقب أسود ، حتى وإن كان الضوء خلاله يمضى حرا . ومن جهة أخرى، يمكن أن تكدس نواة الذرة ذاتها لتصنع ثقبًا أسودًا .

كل هذه الأفكار كانت متقدمة عن موعدها بنصف قرن ، إذ لم يكن أحد من علماء العشرينات من القرن العشرين مستعدًا لأخذ فكرة الثقوب السوداء ، ناهيك عن المجرات السوداء ، مأخذ الجد . لقد كان العلماء آنذاك منشغلين بأبحاث ميكانيكا الكم ، وبتفسير طاقة النجوم عن طريق تحول الكتلة إلى طاقة طبقا لنسبية آينشتاين ، على أن الأسس الرياضية التى تتطلبها فكرة الثقوب السوداء كانت جاهزة ، بل لقد كانت جاهزة فى الواقع منذ مطلع القرن التاسع عشر ، فى أعمال كارل جاوس ونيكولاى لوباشفسكى وجانوس بوليا .

وبعد أن سردنا مسيرة العلم منذ عصر نيوتن إلى آينشتاين ، ووطئنا بأقدامنا أرض علم القرن العشرين ، يجدر بنا أن نرجع خطوة لنرى رياضيات القرن التاسع عشر المتعلقة بالهندسة غير الإقليدية ، والتى وضع أساساها برنارد ريمان Bernhard Rieman ، لتكون حجر الزاوية فى عمل آينشتاين المتعلق بالنظرية النسبية العامة .

الفصل الثانى

التواء الزمان والفضاء

المشاكل المتضمنة خطوطا متوازية ، كيف أن نبابة ألهمت فيلسوفا كسولا بمفتاح دراسة المنحنيات ، إحناء الهندسة لتحنى الفضاء وتغلق الكون ، واضعة الهندسة فى نطاق النسبية ، كيف يشرح قضيب النظرية النسبية ، الكون المصنوع من مسطح مطاطى ، وإعادة اكتشاف الثقوب السوداء .

بالنسبة للفيزيائى يبدأ العلم الحديث من نيوتن فى القرن السابع عشر ، أما بداية الهندسة فتبدأ إما قبل ذلك أو بعد ذلك . فهى تبدأ أبعد من ذلك بالنسبة للهندسة الإقليدية التى ألفناها ، والتى تقول إن مجموع زوايا المثلث ١٨٠ درجة ، وإن الخطوط المتوازية لا تتلاقى مهما امتدت ، هذه الهندسة تعود إلى الإغريق. ولكن تاريخ الهندسة أقصر من ذلك بالنسبة لنوع من الهندسة تصف التواء الزمكان، وتشرح لماذا تتبع الجاذبية قانون التربيع العكسي. حتى علماء الرياضيات لم يدركوا احتمال هذا النوع من الهندسة إلا فى القرن التاسع عشر، ولم يمكن استغلال هذه الهندسة عملياً إلا فى القرن العشرين، لتطبق على الكون الذى نعيش فيه .

من إقليدس إلى ديكارت :

يشتهر اسم إقليدس الذى عاش حوالى عام ٣٠٠ ق.م، بالهندسة المنسوبة إليه ، ليس لكونه وضعها على الإطلاق ، ولكن لكونه قد ضمنها مؤلفا جامعًا يتكون من ثلاثة عشر جزءاً أسماه "العناصر Elements". كان يعيش فى الإسكندرية ، ومن المحتمل أن يكون قد تتلمذ فى كلية أفلاطون بأثينا ، ولكن ربما ليس قبل وفاته عام ٣٤٠ ق.م. لم يكن رياضيا يشار إليه بالبنان كأرشميدس ، ولكنه عاش فى نهاية عصر جلائل أعمال الرياضيات الإغريقية ، وأوتى موهبة فى تسجيلها بدقة وعناية ، مستخدما

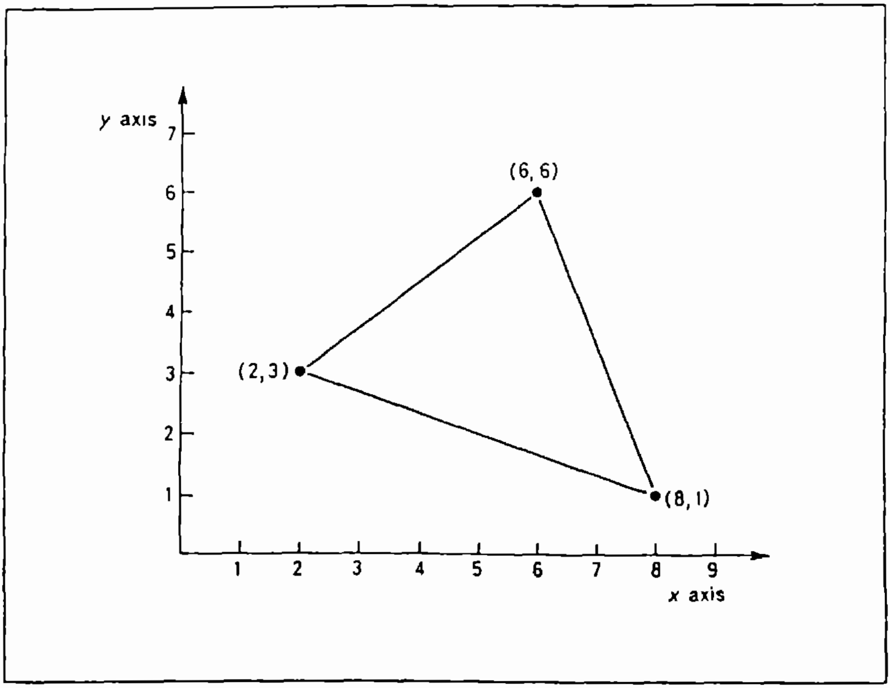
المنطق فى إثباتها، بدءاً من تعريفات وبديهيات أولية ، كتعريف النقطة والخط المستقيم وما إلى ذلك ، وتُرجم مؤلفه إلى العربية وإلى اللاتينية ، وظل مرجعًا للهندسة طوال عشرين قرناً من الزمان .

على أن نظرية إقليدس حول الخطوط المتوازية نجم عنها مصاعب شتى. تقول هذه النظرية إنه لا يمكن رسم سوى مستقيم واحد مواز لمستقيم آخر من نقطة خارجة عنه. وعلى الرغم من أن هذا المفهوم يتطابق مع البديهيات التى نلمسها، إلا أنه من الصعب إثباته بناء على البديهيات الأولى لإقليدس. وقد قام بذلك الرياضى الإيطالى جرولامو ساكيري Girolamo Saccheri الذى أسس برهانه على أنه لو لم يكن هذا صحيحا لأمكن رسم مثلث من المستقيمين المتوازيين ونقطة التقائهما تزيد مجموع زواياه عن ١٨٠ درجة ، وهو أمر مستحيل ، وكان قوله باستحالة ذلك سببا فى فوات فرصة عليه باكتشاف هندسة غير إقليدية . وقد جرى على هذه الهندسة تحويلا على يد رينيه ديكارت فى القرن السابع عشر .

ولد ديكارت عام ١٥٩٦ ، ابن لمستشار فى برلمان مقاطعة بريتانى بفرنسا. كان طفلا مريضا، فكان من عاداته الاستلقاء فى السرير مفكرا ، وقد تخرج من كلية القانون بجامعة بواتييه Poitiers عام ١٦١٦, ولكن بدلا من أن يستقر كأكاديمى ينعم بحياة علمية هادئة ، خدم لاثنتى عشرة سنة فى ميادين القتال ، واضعاً موهبته الهندسية فى خدمة العمليات الحربية . وفى العاشر من نوفمبر عام ١٦١٩ كان يستلقى مسترخيا بعد كسب الجيش الذى يخدمه المعركة ، حين هبط عليه إلهام الثورة التى قام بها فى مجال الهندسة. وسبب معرفتنا بالتاريخ محددا هو أن ديكارت قد كشف عنه فى كتابه "مقالة حول طرق الاستنباط المنطقى السليم والبحث عن الحقيقة العلمية A discourse on the Method of rightly conducting the Reason and seeking Truth in the Sience" . وقد نشر الكتاب عام ١٦٣٧ ويشار إليه اختصارا باسم "الطرق The Methods" .

كان ديكارت وقتها مستقراً فى هولندا بعد تركه الخدمة العسكرية عام ١٦٢٩ ، على أنه لم يستطع مقاومة إغراء عرض الملكة كرستينا ملكة السويد لأن يكون فى بلاطها ، وأن يؤسس الأكاديمية السويدية للعلوم ، وأن يعلمها الفلسفة . على أنه فزع عند وصوله حين علم أنه بدلا من استرخائه فى السرير كان عليه أن يشارك الملكة طقوسها فى الخامسة صباحًا فى برد السويد ، رغم كونه قد تجاوز الخمسين من عمره. وكانت النتيجة إصابته بنزلة برد سرعان ما تطورت (بفضل حماس الأطباء فى عملية الحجامة) إلى التهاب رئوى قضى نحبه بسببه فى عام ١٦٥٠ ، بعد قليل من بلوغه الرابعة والخمسين .

على أن أعماله ظلت باقية من بعده، واضعة إياه فى مصاف أعظم الفلاسفة والعلماء. كان فى كثير من المواضع مجدداً ، رافضاً أى علم ينبنى على الغيبيات لا الإقناع . على أن الأمر المتعلق بقصتنا يتضمن مراقبته وهو مستلق فى استرخاء لذبابة تحوم فى فضاء غرفته، حين انتبه إلى أن موضعها فى أى مكان يمكن تحديده بثلاثة أرقام، هى البعد عن ثلاثة مسطحات ، حائطين متجاورين وسقف الغرفة، بحيث تتقابل الثلاثة فى ركن واحد. نعرف جميعا هذا النظام الذى نطلق عليه نظام الإحداثيات، والذى ينسب لديكارت تشريفا له فيسمى "الإحداثيات الكارتيزية". على أننا غالبا ما نعرف هذا النظام فى الخرائط الجغرافية التى تتعامل مع إحداثيين فقط لا ثلاثة، خطوط الطول التى تحدد الشرق والغرب ودوائر العرض التى تحدد الشمال والجنوب (شكل ٢ - ١) .



(شكل ٢-١) تحديد ثلاث رؤوس لمثلث عن طريق إحداثياتها

ويمكن توصيف أى شكل هندسى بواسطة نظام الإحداثيات ، بعد اختيار محورين يطلق عليهما الإحداث السينى والإحداث الصادى ، ويؤخذان متعامدين عادة. فلو كان الشكل مثلثاً مثلاً يمكن تحديد مواضع رؤوسه كما فى (الشكل ٢ - ١) . وهكذا

فتح ديكارت الباب أمام دمج علمى الهندسة والجبر ، باستخدام المعادلات الجبرية لتمثيل الأشكال الهندسية [١] . وليس هذا مقصوراً على الأشكال المكونة من مستقيمات كالمثلث، بل إن أى منحن قابل للتمثيل كمعادلة كارتيزية تمثل جميع نقاطه ببعديها السينى والصادى ، وينطبق نفس الشىء على المجسمات الفراغية ، حيث تتحدد النقاط بثلاثة أبعاد، كتحديد موقع طائرة مثلا [٢] ، حيث يضاف الارتفاع إلى إحداثيات خطوط الطول والعرض .

وتبدأ قياسات الإحداثيات من نقطة مرجعية تسمى نقطة الأصل ، ومنها تتفرع المحاور التى منها تقاس الإحداثيات ، ويمكنك اختيار نقطة الأصل فى أى مكان يروق لك، كما يمكنك تغيير الزاوية بين المحاور فلا تكون متعامدة بالضرورة. سوف تظل الإحداثيات الكارتيزية موجودة لتصف المستقيمات والمنحنيات على الأسطح المستوية ، والمجسمات الفراغية كالكرة الأرضية ، أو علبة شراب، أو ، وهو الأهم، قطعة مجعدة من الورق . هذا بالضبط ما تم إنجازه فى القرن التاسع عشر على يد رياضيى ذلك القرن الذين مضوا فيما وراء إقليدس ، متسلحين بما قدمه لهم ديكارت .

فيما بعد إقليدس :

أول من أبحر فيما وراء إقليدس واعياً لمضمون ما يفعل كان الرياضى الألمانى كارل جاوس، أحد عظماء الرياضيات فى العالم . ولد جاوس عام ١٧٧٧ فى برونسفك Brunswick لعائلة فقيرة الحال ، ولكنه أبدى نبوغاً فى الرياضيات لفت إليه انتباه دوق برونسفك الذى تولى تدعيمه وإحاطته بالرعاية إلى أن قتل متأثراً بجراحه فى معركة جينا ضد نابليون عام ١٨٠٦ . عندئذ لم يكن جاوس فقط قد وقف على قدميه، بل كان قد أتم – وهو فى التاسعة والعشرين–أغلب أهم مساهماته فى الرياضيات قبل أن يتحول للفلك ، على أن القدر الأعظم من هذه الأعمال لم يكن معروفاً لغيره من العلماء، ناهيك عن العالم بأسره .

هناك سببان لذلك ، الأول أن قدراً كبيراً من أعماله أنجزها بين عمرى الرابعة عشرة والسابعة عشرة ، ولم يكن هذا العبقرى الناشئ فى أسرة فقيرة يعرف كيف

(١) أخبرنى والدى أنه كان يتلافى الحلول الجبرية (فى الثلاثينات) بتحويل أي معادلة إلى شكل بيانى ويقيس النتيجة ، بذلك فإن الفضل يرجع لديكارت أن مكنه من النجاح فى مادة الرياضيات .

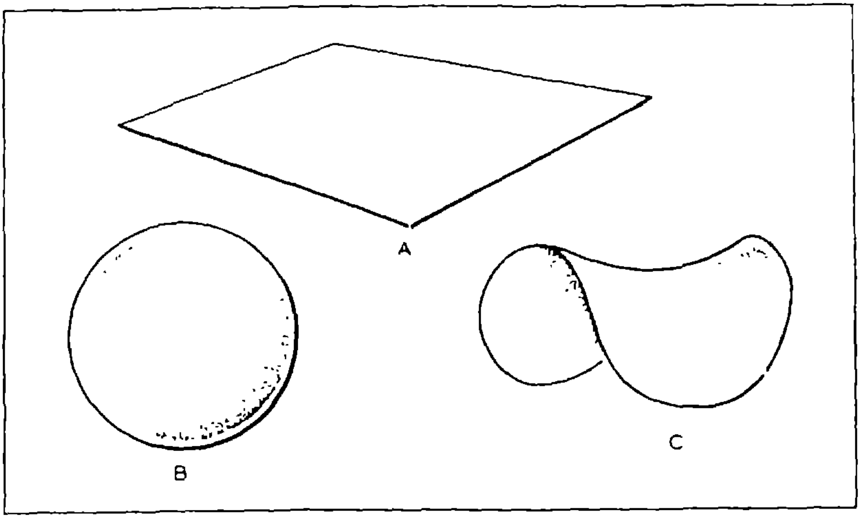
(٢) تسمى رياضيات ديكارت "الهندسة التحليلية analytical geomtry– المترجم .

ينشر أعماله. وفى الفترة بين ١٧٩٥ و١٧٩٨ كان لا يزال يدرس فى جامعة جوتنجن ، مستمرًا فى إنجازاته ، وحين حصل على الدكتوراه من جامعة هلمشتات فى الثانية والعشرين، كان قد أنجز أعظم أعماله. أما السبب الثانى الذى لم يجعله يسارع بنشر أعماله حتى بعد أن أصبح معروفا للمحيط العلمى هو رغبته فى الإتقان إلى درجة متطرفة . ونتيجة لذلك فقد اتضح أن اكتشافات كثيرة لغيره كان قد بدأها بالفعل ، ولكنه تركها دون نشر .

وعند بداية القرن الجديد تحول جاوس إلى الفلك ، وتولى منصب مدير مرصد جوتنجن بعد وفاة الدوق ، بالإضافة إلى شغله وظيفة أستاذ بالجامعة إلى أن توفى عام ١٨٥٥ . وتتضمن مذكراته العديد من الاختصارات لم يتمكن أحد من تفسيرها حتى الآن ، ولعلها كانت اكتشافات رياضية لم يستطع أحد بعده فهم مغزاها ، ولكنها تشير أيضًا إلى اكتشافه نوعًا من الهندسة غير الإقليدية عام ١٧٩٩ ، بالضبط قبل ثلاثين عاما من نشرها بواسطة عالم روسى هو نيكولاى لوباشفسكى Nikolai Lobachevsky .

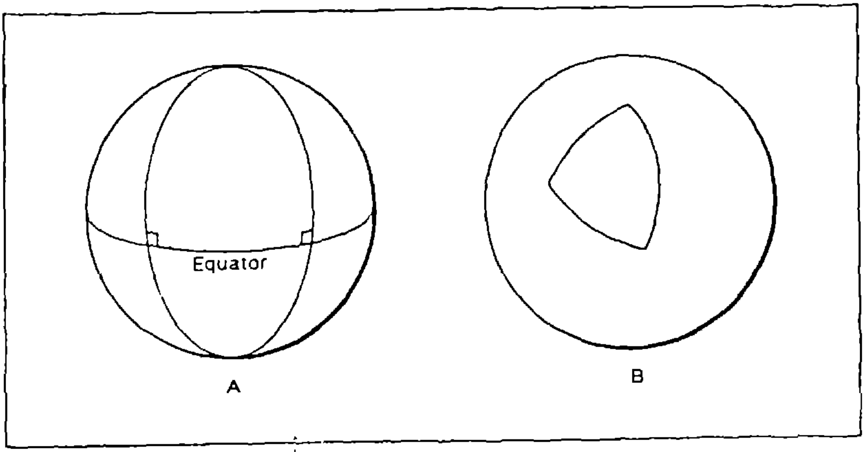
وينسب عمل لوباشفسكى (الذى قام بطرح الفكرة لأول مرة عام ١٨٢٦) أيضًا لضابط مجرى يدعى جانوس بولياى Janos Bolyai . كان بولياى ابن رياضى شهير أيضا هو وولفجانج ، ارتبط بصلة صداقة مع جاوس ، وأراد لابنه أن يكون متتلمذاً على يديه، على أن الابن أحبط والده بالتحاقه بالجيش وهو فى سن السادسة عشرة ، ليس كمحارب بل كما فعل ديكارت من قبل ، كمهندس حربى . ورغبة من الابن فى تطييب خاطر والده ، قام بسبر غور الهندسة الإقليدية ، ووصل لنفس ما وصل إليه جاوس ولوباشفسكى ، ولكنه لم يتمكن من نشر عمله .

لقد وصل العلماء الثلاثة معًا ، وعلى استقلال ، إلى نفس نوع الهندسة "الجديدة". لقد بينوا أنه من الممكن تصور هندسة متكاملة ، تضم كافة بديهيات الهندسة الإقليدية، عدا المتعلقة بالخطوط المتوازية ؛ ويعنى ذلك إمكان رسم خط، ثم من نقطة خارجه رسم عدة خطوط لا تتقاطع معه على الإطلاق ، أى متوازية معه. تنتسب هذه الهندسة إلى نوع من الأسطح غير المستوية ، فهى مؤسسة على أسطح مبنية على منحنى القطع الزائد . تشبه هذه الأسطح سرج الحصان، وتمتد من طرفيها إلى مالا نهاية (شكل ٢-٢) . على مثل هذه الأسطح يكون مجموع زوايا المثلث أقل من ١٨٠ درجة ، ويطلق عليها "سالبة الانحناء" .



(شكل ٢-٢) تبنى الهندسة الإقليدية على الأسطح المستوية (أ) ، ولوصف الأشكال المرسومة على أسطح منحنية، قد تكون مغلقة (ب) أو مفتوحة (ج) ، يحتاج الأمر إلى هندسة جديدة. يعتبر الفضاء الكونى ذا انحناء خفيف يجعله منغلقا، كما يقوم الثقب الأسود بجعل الفضاء حوله منغلقا عليه .

يفضل الكثيرون استيعاب الهندسة غير الإقليدية من طريق آخر ، من عجب أنه لم يكن طريق أى من روادها الثلاثة ، ألا وهو طريق السطح الكروى الذى لا يمتد إلى مالا نهاية ، فهو سطح منغلق على نفسه، أو ذو انحنائية موجبة "موجب الانحناء" . إنك ترى أن الخطوط المتوازية تتصرف بطريقة غريبة على سطح الكرة الأرضية . خذ مثلاً خطوط الطول ، ترى أنها تبدأ جميعًا متعامدة على خط الاستواء ، وتتلاقى فى نقطتين ، القطب الشمالى والقطب الجنوبي، ولذا فإن مجموع زوايا المثلث على السطح الكروى يكون أكبر من ١٨٠ درجة (شكل ٢-٣) .



(شكل ٢-٣) (أ) على سطح الكرة الأرضية تتقاطع جميع خطوط الطول مع خط الاستواء متعامدة عليه ، ولكنها تتلاقى جميعا عند القطبين ، (ب) مجموع زوايا المثلث المرسوم على سطح كرة أكبر من ١٨٠ درجة .

تمثل الأسطح المستوية إذن - والتى هى مجال تطبيق الهندسة الإقليدية - وضعًا خاصًا متوسطًا بين الأسطح المفتوحة والأسطح المنغلقة . على أن حقيقة وجود العديد من الهندسات غير الإقليدية لم يرسخ فى الأذهان إلا على يد برنارد ريمان ، تلميذ جاوس، والذى نشر عمله عام ١٨٥٠، إنه - من بين أشياء أخر - من اكتشف الهندسة الكروية .

تجديد عصر الهندسة :

عالج ريمان الهندسة الكروية تحليليًا ، أى عن طريق الجبر ، باستخدام الإحداثيات الكارتيزية . ويفتح له هذا الأسلوب مجالاً رحبًا لا يتحقق لمعالجة الهندسة عمليا عن طريق الرسم باستخدام المسطرة والمنقلة والفرجار . فهذه الأدوات تعمل جيدا لو كنت بصدد بحث علاقة بين أشكال محددة، قد تكون على مسطح ذى بعدين ، أو حتى مجسم فراغى ذى ثلاثة أبعاد . ولكن ، كيف تتعامل بهذا الأسلوب مع شكل رباعى الأبعاد ؟ لا يتجرأ العمليون على مجرد السؤال ، فى حين يمكن دائما كتابة معادلات بأى عدد من الأبعاد .

خذ مثلاً نظرية فيثاغورث الشهيرة ، والتى تربط بين المربعات المقامة على أضلاع المثلث قائم الزاوية . إن لفظ "تربيع" يثير فى الخيال على التو الرمز "س٢" ، على أن فيثاغورث نفسه قد تعامل مع الموضوع عن طريق مربعات فعلية ، مرسومة فوق

الأضلاع ، بل إن كلمة " Geometry" بمعنى هندسة تعنى "قياس الأرض" (١) . على أنه يمكنك كتابة العلاقة على صورة معادلات باستخدام الإحداثيات الكارتيزية، تتضمن معاملين، "س" للتعبير عن الإحداثيات السينية ، و"ص" للتعبير عن المعاملات الصادية ، وما أن تفعل ذلك حتى يكون بإمكانك تطوير هذه المعادلات إلى ثلاثة أبعاد لوصف المجسمات الفراغية ذات الثلاثة أبعاد ، فتكون المعادلات ذات ثلاثة معاملات "س"، "ص"، "ع" ، بل يمكنك تطويرها إلى أى عدد من الأبعاد (٢) ، تحمل جميعها خاصية نظرية فيثاغورث .

تعتبر كل هذه الأفكار جذابة للعقل الرياضى البحت ، وإن لم يكن لها أدى مدلول بديهى (سوى ما سنراه من تطبيق الفضاء رباعى الأبعاد فى النسبية العامة) ، ويرجع الفضل لريمان أن بين إمكانية تحقيق ذلك رياضيا .

ولد ريمان عام ١٨٢٦ ، والتحق بجامعة جوتنجن وهو فى العشرين من العمر ، وتلقى العلم فى البداية على يد جاوس، والذى كان يقترب من السبعين حين انتقل ريمان إلى برلين عام ١٨٤٧ ليدرس لعامين قبل أن يعود إلى جوتنجن، وحصل على الدكتوراه عام ١٨٥١ ثم عمل مساعدا للفزيائى فلهلم فبر، من رواد علم الكهرباء (٣) .

كان النظام المعمول به للقبول كمعيد فى الجامعة ، أن يتقدم الطالب بثلاثة موضوعات يختار القسم المعنى منها واحداً يكون هو موضوع محاضراته، وكان دخل المحاضر يدفع عن طريق الطلاب الذين يسجلون أسماءهم كمستمعين له . وقد كان الوضع السائد أن تختار لجنة الاختيار الموضوع من بين أول موضوعين ، أما الثالث فقد كان ينظر إليه كتكملة شكلية ، وعلى هذا الأساس وضع ريمان خطته ، على أن جاوس فتن بعنوان الموضوع الثالث ، فقد كان يتعلق بالهندسة، وفوجئ ريمان بقبول موضوع لم يكن مستعداً للمحاضرة فيه على الإطلاق .

(١) البادئة جيو -geo تعني دائما "الأرض"، كما فى "جيولوجيا، جيوفيزياء...الخ، وهي مشتقة من "جايا" إلهة الأرض لدى الإغريق – المترجم

(٢) يخرج الفضاء متعدد الأبعاد فيما يزيد على ثلاثة عن التصور الذهنى ، فهو يعبر عن صور رياضية مجردة تصلح للتحليلات الرياضية الصرفة، فالفضاء رباعي الأبعاد يستخدم لوصف الزمكان الذي قالت به النسبية العامة، أما ما يفوق ذلك من أبعاد فلها مجالات تطبيق في علوم أخرى ، بل ويرى البعض أننا نعيش في فضاء كوني ذي ثلاثة عشر بعدا، ويرى البعض أنها أكثر من ذلك – المترجم

(٣) ربطت أبحاثه بين الضوء والكهرباء، مما مهد لماكسويل اكتشاف معادلاته .

أنهك الاستعدادُ لتحضير محاضرات فى ذلك الموضوع صحةَ ريمان ، فخر مريضا ولبث بالفراش إلى أن فاته حضور الموعد المضروب لتقديم عمله إلى لجنة الاختيار برئاسة جاوس ، وفى الموعد التالى كان الدور على جاوس ، الذى تجاوز السبعين، ليعتذر لظروفه الصحية ، وأخيرا تمكن ريمان من عرض موضوعه فى العاشر من يونيو ١٨٥٤ ، إلا أنه لم يطبع إلا بعد وفاته بعام، فى ١٨٦٧ . كان العنوان الذى افتتن به جاوس معنونا "حول الفروض التى تؤسس عليها الهندسة On the hy-potheses which lie at the foundation of Geometry" ، وكان يتناول موضوعات متعددة، منها قياس انحناء الفضاء، ووصف للهندسة الكروية .

رغم أن الموضوع كان متعلقًا بالهندسة أساسًا ، فإن أكثر ما تضمنه إثارة هو سبقه فى الافتراض بأننا نعيش فى فضاء منغلق ، لقد كانت فكرة أكثر طموحا من النجوم السوداء التى جاء بها ميشيل ولابلاس ، والمؤسسة على تطبيق مباشر لقوانين نيوتن. لقد سبق ريمان بفكرته هذه آينشتاين بأكثر من نصف قرن، بل بربع قرن على مولد آنيشتاين ذاته . إن كل إنسان يعرف أن آينشتاين هو أول من تنبأ بانغلاق الكون ، وكل إنسان مخطئ بهذا الخصوص .

وحصل ريمان على الوظيفة، وفى ١٨٥٥ توفى جاوس ، ثم تلاه خليفته فى رئاسة القسم بأربعة أعوام ، فآل المنصب إلى ريمان ، وفى التاسعة والثلاثين من العمر قضى نحبه بسبب مرض السل ، ولو قدر له أن يعيش إلى عمر جاوس لرأى كيف خدمت فكرته عن الفضاء متعدد الأبعاد أهم إنجازات العلم ، ألا وهى النظرية النسبية العامة ، وصدق نبوءته عن انغلاق الكون .

على أن آينشتاين لم يكن حتى الثانى فى الترتيب بالقول بهذا الرأي ، كما أن آينشتاين لم يكن هو الذى طبق الهندسة الريمانية على نظريته .

هندسة النسبية :

فى الترتيب الزمنى ، يقع بين عمل ريمان ومولد آينشتاين رياضى إنجليزى هو ويليام كليفورد William Clifford ، الذى عاش فيما بين ١٨٤٥ و١٨٧٩ وتوفى ضحية مرض السل مثل ريمان . قام كليفورد بترجمة عمل ريمان إلى الإنجليزية ، وكان له الفضل الأكبر فى إدخال فكرة الفضاء المنغلق وتفاصيل الهندسة غير الإقليدية إلى الفكر الإنجليزي. كان يدرك احتمال أن يكون الفضاء الكونى ثلاثى الأبعاد الذى نعيش فيه محدوداً ومنغلقًا على نفسه ، ولكن هندسته تكون رباعية الأبعاد ، بنفس الطريقة التى يكون فيها سطح الكرة الأرضية ثنائى الأبعاد محدوداً ومنغلقا على نفسه ، ولكن هندسته ثلاثية الأبعاد . فكما أن مسافراً على سطح الكرة الأرضية فى خط مستقيم سوف يكون مآله العودة إلى نقطة البداية، فإن مسافراً فى الفضاء الكونى فى خط

مستقيم سوف يعود إلى نفس النقطه التى بدأ منها رحلته . ولكن كليفورد أدرك أن الأمر يتجاوز هذا الانحناء التدريجي فى فضاء الكون ، ففى عام ١٨٧٠ قدم ورقة بحث إلى جامعة كمبردج وصف فيها احتمال أن يكون الانحناء متغيراً من نقطة إلى أخرى ، على غرار مرتفعات ومنخفضات سطح الكرة الأرضية، والتى هى فى المتوسط مسطحة، وعلى هذا الأساس فإن قوانين الهندسة التقليدية ليست مناسبة لها. بعبارة أخرى ، فإنه قبل ميلاد آينشتاين كان كليفورد يتخيل إمكانية وجود تشوهات موضعية فى نسيج الكون ، دون أن يتصور بطبيعة الحال كيف تتكون هذه التشوهات أو سببها .

كان كليفورد واحداً من كثيرين تناولوا الهندسة غير الإقليدية فى النصف الثانى من القرن التاسع عشر [١] ، وإن كان أفضلهم بما أوتى من صفاء ذهن فى تصور مردود ذلك على هندسة الكون. لقد كان تفكيره فى الأمر عميقًا، ويمكننا أن نتصور منازعته لآينشتاين حول السبق للفكرة لو لم يقدر له أن يتوفى قبل أحد عشر يوما من ميلاد آينشتاين. ومن الطريف أنه بينما يمكننا أن ننسب فضل السبق فى فكرة النسبية العامة إلى ويل كليفورد، فإن أحد المتضلعين فى هذه النظرية، وأفضل من شرحها للقارئ العادى [٢] هو كليفورد ويل Clifford Will ، عالم أمريكى ولد قبل سميه المعكوس بمائة يوم ويوم .

مع كل هذا الاهتمام بالهندسة فى النصف الثانى من القرن التاسع عشر، يعجب المرء أن وصل آينشتاين إلى نظرية النسبية الخاصة باستخدام المعادلات الجبرية، واضعاً المعادلات التى توفق بين قوانين نيوتن للحركة وثبات سرعة الضوء كما اكتشف ماكسويل . على أننا نعلم أن آينشتاين كان فيزيائياً وليس رياضياً ، بل لم يكن فيزيائياً سوياً ، فهو قد ضاق ذرعاً بطرق مدرسيه العقيمة لدرجة أن العديد منهم بشروه بأنه لن يكون شيئا مذكورا ، وطرد من مدرسته بألمانيا [٣] ، ورسب فى أول

(١) للحصول على مرجع واف عن الموضوع، انظر "The Measure of the Universe, J.D. North, Oxford Uni ١٩٦٢ .

(٢) Was Einstein right, Basic Books, ١٩٨٦ .

(٣) لم يرد في الترجمة التي راجعناها لآينشتاين (كتاب "آينشتاين، ترجمة نبيل صلاح الدين، من إصدارات هيئة الكتاب") قصة طرده من المدرسة، بل الذي جاء أنه طلب التحويل منها إلى مدرسة بإيطاليا حيث رحل والداه قبل عام، كما أن عبارة أنه لن يكون شيئًا مذكورا وردت على لسان مدرس للأدب اللاتيني وليس للفيزياء – المترجم .

امتحان له لدخول معهد البوليتكنيك بزيورخ. وحتى حين أتيح له الالتحاق بها وصفه أحد أساتذته ، هرمان منكوفسكى Hermann Minkowski بـ "الولد الكسلان" ، الذى لا شك فى ذكائه ، ولكن ليس له قبَل بالرياضيات على الإطلاق. ولم تكن الرياضيات فقط هى مصدر ضجره، فعندما حان موعد الامتحان النهائى كان متأخراً فى العديد من المواد التى لم يحضر دروسها لضيقه بها، وكان عليه أن يحشو عقله بها، وهو أمر لم يستطع إنجازه إلا بمساعدة صديقه الحميم مارسيل جروسمان .Marcel Grossman ، وعند تخرجه عام ١٩٠٠ فشل فى الالتحاق بنشاط أكاديمي، وقضى عدة سنوات فى بداية القرن العشرين يعمل فى مكتب براءات الاختراع بزيورخ، وهى الوظيفة التى أُتيحت له بفضل وساطة والد زميله جروسمان ، كانت وظيفة متواضعة أتاحت له أن ينكب على التفكير فى الفيزياء، إلى أن توصل إلى وضع النظرية النسبية. نشرت النظرية عام ١٩٠٥ ، ثم بدأ يدخل التاريخ .

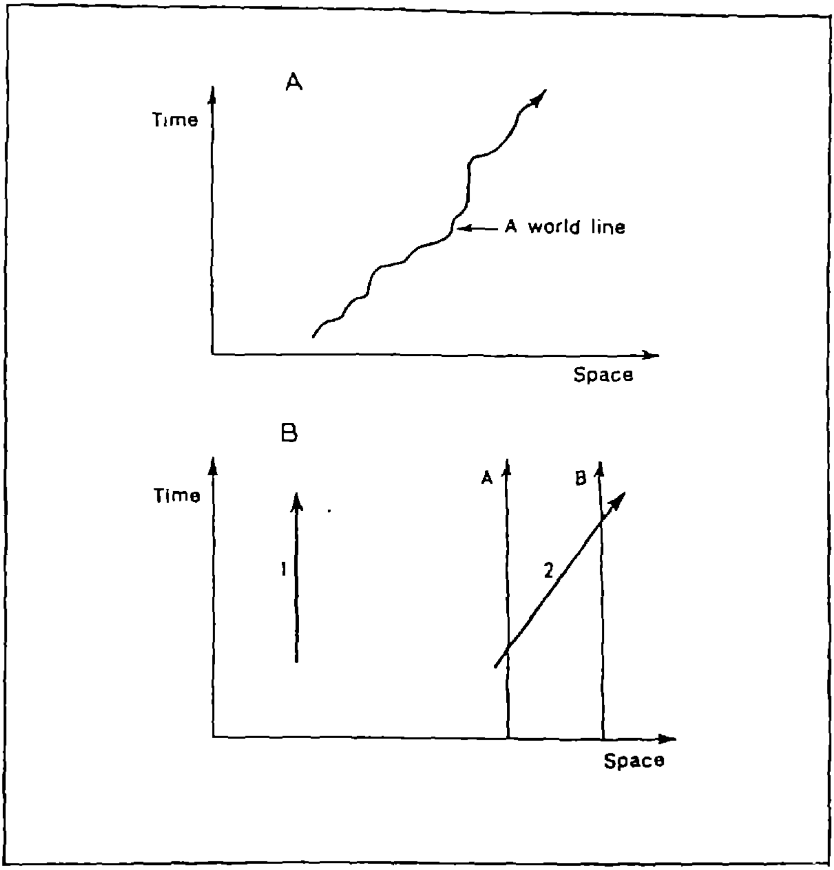
ولكن، ليس على الفور ، إذ لم يكن وضع النظرية النسبية هو ما سبب له شهرته العريضة ، لقد كان ذلك بفضل أن قام أستاذه منكوفسكى بوضع نظريته فى قالب هندسى رباعى الأبعاد ، ساهمت فى تصورها بقدر كبير .

كان ميلاد منكوفسكى عام ١٨٦٤ ، قبل عامين من وفاة ريمان ، وشغل منصب أستاذ الرياضيات فى معهد البوليتكنيك بزيورخ من ١٩٠٢ إلى وفاته بالتهاب الزائدة الدودية فى يناير عام ١٩٠٩ ، وقد عمل فى جامعة جوتنجن متتبعًا خطوات جاوس وريمان ، ولكن معالجته الهندسية للنظرية النسبية بُنيت على هندسة ديكارت أكثر من هندسة سابقيه العظماء فى جوتنجن .

تتضمن معادلات آينشتاين أربعة معاملات، الثلاثة المألوفة للفراغ، ثم معاملاً رابعًا هو الزمن. لنرجع بذاكرتنا إلى ديكارت وهو مستلق يرقب الذبابة، لقد رأى أن موضعها فى أية لحظة زمنية تحدد بثلاثة إحداثيات فراغية، وما ذهب إليه آينشتاين هو إضافة زمن هذا التحديد لحظة بعد الأخرى فى شكل رباعى الأبعاد لتمثيل رحلة حياة الذبابة (١) .

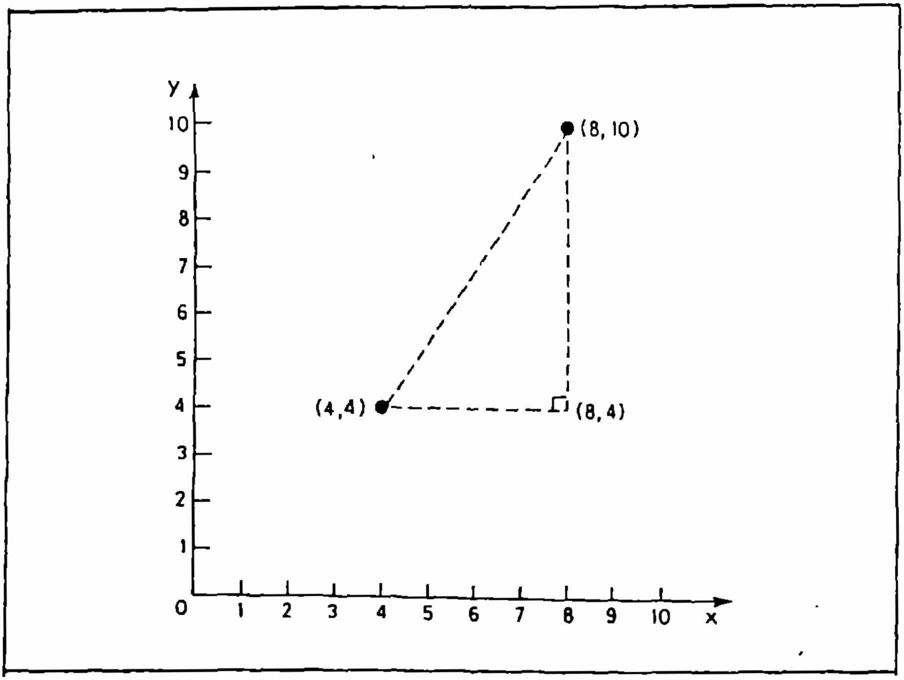
(١) ليس الأمر بهذه البساطة، فالكل يعلم أن الزمن بُعد يؤخذ في الاعتبار، لكنه مستقل تماما عن الأبعاد الفراغية. الجديد في نظرية آينشتاين هو أنه دمج هذا البعد مع الأبعاد الثلاثة الفراغية في مفهوم الزمكان، بحيث يمكن تحويل الزمن إلى فراغ أو العكس، وهو ما لم يتصوره أحد من قبله، ويمثل لب نظرية النسبية الخاصة كما سيشرح المؤلف بعد ذلك، وتصويرا لذلك الفرق يقال إن نظرية نيوتن مبنية على ٣+١ من الأبعاد، بينما نظرية آينشتاين مبنية على أربعة أبعاد. وفي ذلك يختلف منحنى يمثل مسار رحلة كالتي شرحها المؤلف لذبابة أو لطائرة، عن "الخط الكوني" الذي يرسم المسار في الزمكان، والذي سيرد ذكره حالا – المترجم

ولك أن تتخيل خطاً رُسِم ليبين هذه الرحلة منذ وضعها بيضة إلى موتها، خط مشوش تقع عليه نقطة تمثل لحظَة معينة من يوم ١٠ نوفمبر من عام ١٦١٩، توافق أن كانت فى موضع ما من غرفة ديكارت. هذا الخط يطلق عليه "الخط الكونى "world line، ويرسم فى فضاء رباعى الأبعاد (شكل ٢-٤) .



(شكل ٢-٤) أ- تصوير لخط بيانى فى الزمكان ، جُمعت فيه الأبعاد الفراغية الثلاثة فى المحور الأفقى ، ويمثل الخط الكونى رحلة حياة شىء ما (ذبابة مثلا) يمثل موضعه كل لحظة . ب- الجسم ١ يقف فى نفس الموضع طوال الوقت، والجسم ٢ يتحرك من "أ" إلى "ب" مع مرور الوقت .

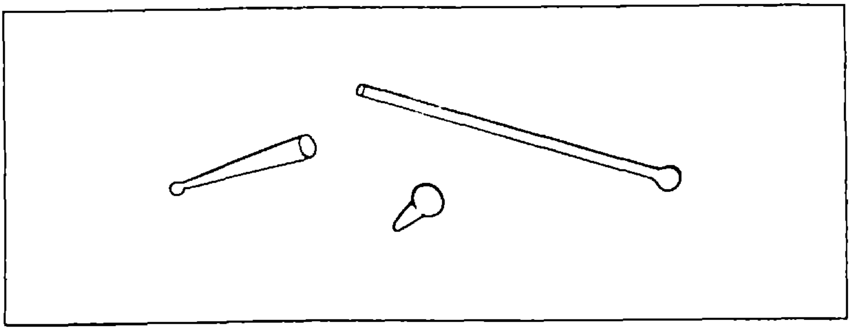
إن أحد المعادلات فى نظرية النسبية تتماثل مع معادلة فيثاغورث ، وليس هذا تصادفاً محضاً ، فالمعادلة تصف طريقة إيجاد أقصر مسافة بين نقطتين ، وتسمى هذه المعادلة "المترى أو المقاسى "metric للفراغ المتعدد الأبعاد (أو الزمكان) spacetime، كما أن أقصر مسافة يطلق عليها أيضا "الجيوديسى ، أو المتقاصر "geodisic، وبالطبع فإنه لسطح مستو سواء أكان صفحة ورق أو مسطح أرض على ضفاف النيل ، فإن الجيوديسى هو خط مستقيم يمكن حسابه من معادلة فيثاغورث. وتتلخص الطريقة فى الآتى (راجع شكل ٢-٥ لسهولة التتبع) فى مسطح ثنائى الأبعاد يمكن تحديد كل نقطة بإحداثياتها السينية والصادية، ويمكن حساب المسافة بين نقطتين عن طريق رسم مثلث قائم الزاوية ضلعاه هما فرق الإحداثيات، ووتره هو المسافة المطلوبة .



(شكل ٢-٥) حين نعلم الإحداثيات الكارتيزية لنقطتين ، يمكن حساب المسافة بينهما برسم مثلث قائم الزاوية وتطبيق قاعدة فيثاغورث ، ولا يهم موضع نقطة الأصل ، فموضعها لن يؤثر على فرق الإحداثيات التى تحدد طول ضلعى المثلث. تصلح الطريقة للأبعاد الأربعة (وأكثر من ذلك) حتى مع تعذر رسمها ، وبذلك نحصل على المسافة فى الزمكان، وليس المكان فقط .

يمكننا عمل نفس الشيء بالنسبة للفضاء ثلاثى الأبعاد ، باستخدام ثلاثة محاور سينى وصادى وعينى . وتطبق معادلة آينشتاين الفكرة على فضاء رباعى الأبعاد ، بإضافة بعد رابع "ز" يمثل الزمن . وعلى ذلك تكون أبعاد هذا الفضاء هى : يمين/يسار ، أمام/ خلف ، أعلى/أسفل ، ماضي/مستقبل ، وتعتبر معالجة منكوفسكى للنظرية النسبية مزيجًا من تطبيق الهندسة الكارتيزية وتوسيع الهندسة الريمانية إلى الأبعاد الأربعة .

يعطى ذلك أوضح تصُّور لكيفية إبطاء الزمن وانكماش المسطرة حين تقترب السرعة من سرعة الضوء ، تقول معادلات آينشتاين إن طول الوتر فى الفضاء الرباعى الذى نستنتجه من تطبيق نظرية فيثاغورث ثابت لا يتغير ، ولكن بالنسبة لمراقب متحرك، يمط البعد الزمنى وتنكمش أبعاد الأطوال تعويضًا لذلك المط .



(شكل ٢-٦) يبدو القضيب حين يدور فى الفراغ متغير الطول على الدوام ولكنا نعلم أن هذا ليس إلا خداع نظر .

تصور قضيبًا كالمبين (بشكل ٢-٦) يدور فى الفراغ، سوف ترى أن طوله يتغير مع زاوية النظر إليه ، رغم كونه ثابتًا فى الحقيقة ، إنه تأثير المنظور ، بهذه الطريقة يمكن تصور تغير الأبعاد فى النظرية النسبية بين بعد الزمن وأبعاد الفراغ ، عن طريق تأثير المنظور فى الأبعاد الأربعة .

وتحريًا للدقة تتبقى إضافة مهمة، وأخرى طفيفة ، فى المعادلة يعتبر المعامل المعبر عن الزمن سالبًا، بينما تعتبر الأبعاد الأربعة المكانية موجبة، ولذا لا يمكن أن يعتبر الزمن مجرد بعد رابع للفضاء، إنه بعد رابع، ولكن نوع من الفضاء السالب، فحين ينكمش الطول ، يتمدد الزمن ، وحين يتمدد الطول ، ينكمش الزمن ، ولكن طول الوتر الذى يجمع الأبعاد الأربعة يظل ثابتًا .

كما أن المعامل المعبر عن الزمن يضرب دائمًا فى سرعة الضوء ، وعلى ذلك فإن الثانية الواحدة تكافئ مسافة ثلاثمائة ألف كيلومتر ، ولهذا السبب لا تظهر تأثيرات النظرية النسبية إلا عند سرعات تقترب من سرعة الضوء .

وقد ظهر تبسيط منكوفسكى للنظرية النسبية فى محاضرة ألقاها فى كولونيا عام ١٩٠٨ ، قبيل وفاته، وتلقى كلماته الافتتاحية للمحاضرة الضوء على الأهمية التى يراها لمفهوم الأبعاد الأربعة ، والتى سرعان ما أدركها الآخرون :

> إن النظرة التى أطرحها أمامكم عن الفضاء والزمن قد نبتت من التجارب العملية الفيزيائية، وفى ذلك مكمن قوتها، إنها نظرة جوهرية، فالفضاء بذاته والزمن بذاته حرى بهما أن يتلاشيا، ويتبقى مزيج منهما ليمثل الحقيقة قائمة بذاتها .

على أن واحداً لم يعر كثيراً من الاهتمام للمعالجة الهندسية لمنكوفسكى ، إنه من نعته سابقا بالولد الكسلان. لقد كان ألبرت آينشتاين بطبعه عزوفا عن علم الرياضيات، ولكنه سرعان ما تعلم أن يتعايش معه، خاصة مع إدراكه بأن الفضل فى ذيوع شهرته يرجع لتصوير منكوفسكى الهندسى لنظريته، إذ بعد تلك المحاضرة مباشرة منح أول درجة للدكتوراة من جامعة جنيف، وكان ذلك عام ١٩٠٩ ، كبداية للعديد منها .

على أنه إذا كان منكوفسكى قد استخدم فكرة ريمان الخاصة بالفضاء متعدد الأبعاد، فإنه لم يلجأ لهندسته ، فلم يكن محتاجًا لها ، فهندسة النظرية النسبية الخاصة إقليدية ، تعتبر الفضاء مسطحا ، كل ما فى الأمر هو إضافة بُعد رابع للهندسة الفراغية. ولم يكن لجوء آينشتاين لهندسة ريمان غير الإقليدية إلا عند تعامله مع تكور الفضاء، وهنا كانت يد المساعدة متمثلة فى صديقه القديم جروسمان ، وذلك فى إطار النسبية العامة .

تصور آينشتاين للجاذبية :

كانت النظرية النسبية الخاصة وليدة تطور العلم وقت ظهورها، بمعنى أنه لو لم يتصد آينشتاين لها لقام بذلك غيره ، مدفوعًا بحل التناقض بين قوانين نيوتن وتصرف الضوء [1] . ولكن يقال إن النظرية النسبية العامة كانت وليدة إلهام تفرد به آينشتاين ، بمعنى أنه ربما لم يكن لهذه النظرية أن تبرز للوجود لخمسين عاما تالية لو قدر لآينشتاين أن يخر صريعًا تحت عجلات ترام فى عام ١٩٠٦ . ولقد ساهمت بنفسى فى نشر هذه المقولة فى كتب سابقة لى ، ولكنى أرى الآن أن هذا الرأى لم يأخذ حقه من التمحيص ، إنه قول روجه الفيزيائيون حين يسترجعون كيف شرحت نظرية آينشتاين الأمور .

إن التعارض بين نيوتن وماكسويل قد تطلب نظرية جديدة، ويرى الرأى المذكور أنه بوضعها لم يعد ثمة تناقض آخر يستدعى التفكير ، ربما، ولكنا رأينا أنه بحلول القرن العشرين كانت فكرة الكون المتكور قد طُرحت أكثر من مرة بواسطة الرياضيين، ومن المؤكد أن طرح منكوفسكى للجانب الهندسى لنظرية آينشتاين فى ثوب من فضاء مسطح كان سيلهب خيال واحد من الرياضيين (لعله يكون جروسمان) لمحاولة بسط الفكرة إلى الكون المنحني، فمن وجهة نظر الرياضيين فإن النظرية النسبية العامة هى تطور عصرها كالخاصة سواء بسواء ، فهى امتداد طبيعى لها (سوف نرى فى الواقع أن الرياضيين سابقون دائمًا للفيزيائيين بعدة خطوات إلى الستينات من هذا القرن، ولا يزالون إلى الآن متقدمين بخطوة أو اثنتين) ، يتأسس هذا الرأى على حقيقة أن الأمر تطلب تحفيزًا من رياضى ليحث آينشتاين الفيزيائى على المضى فى طريقه بعد ١٩٠٩ .

على أن ما افتقده آينشتاين بالنسبة للنظرة الرياضية عوضه بذهن متوقد فى الفيزياء، فقد كان فى إحساسه بكيفية عمل الكون فارسًا لا يشق له غبار ، لقد كانت نظرية النسبية الخاصة وليدة تساؤل عما يمكن أن يحدث لو أنه ركب شعاعًا من الضوء، وكانت النسبية العامة وليدة تساؤل عن تصرف الضوء لو اخترق مصعدًا هابطًا . لقد بذرت هذه البذرة وقت وضع النسبية الخاصة ، ولكن لعدم إلمام آينشتاين بطبيعة الهندسة الريمانية تطلب الأمر منه تسعة أعوام لكى تنضج .

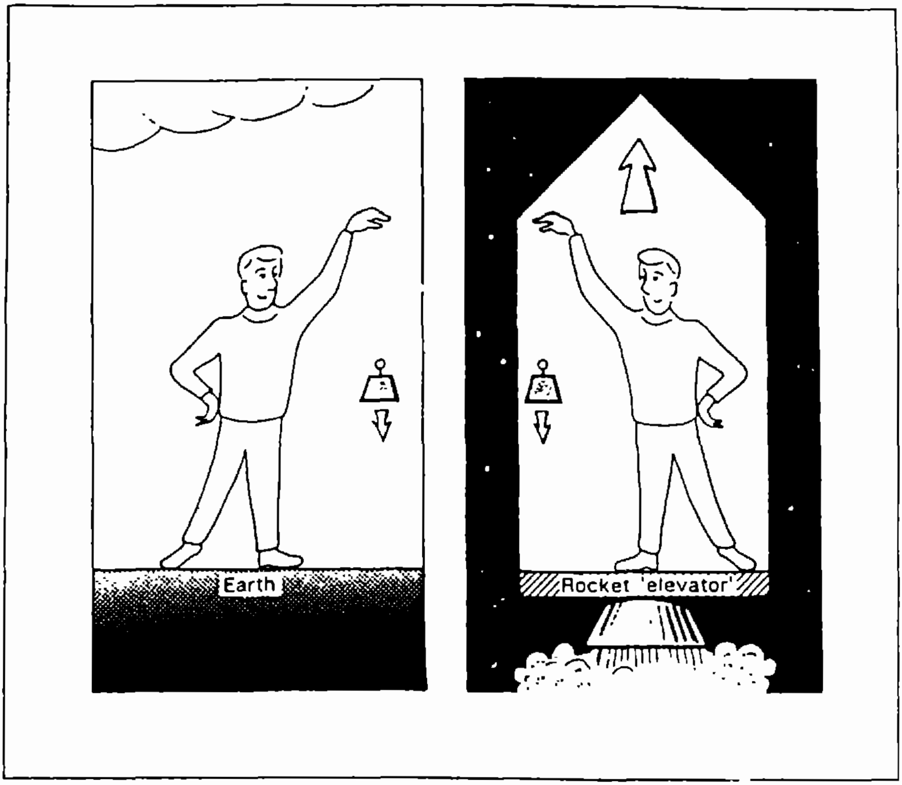
(١) المرشح لذلك هو العالم الفرنسي الشهير بوانكريه، إذ كان يعمل فى نفس الخط، وقد نشر بحثا متزامنًا مع بحث آينشاين متضمنا الكثير من أفكار النسبية الخاصة ، على أن نظرية آينشتاين كانت أكثر شمولاً – المترجم .

تخبرنا النسبية الخاصة كيف تبدو الأمور لمتحركين بسرعات تقارب سرعة الضوء، ولكنها ثابتة المقدار والاتجاه ، وقد كان باديًا حتى حين وضعها أنها تقصر عن تفسير الأمور فى حالتين واقعيتين، حالة التسارع (والذى يعبر عنه الفيزيائيون بأنه تغيير فى قيمة السرعة أو فى اتجاهها أو فى الاثنين معًا) ، وحالة وقوع الجسم تحت تأثير الجاذبية. وقد تمثل نفاذ بصيرة آينشتاين فى إعلانه عام ١٩٠٧ أن الأمرين هما نفس الشيء ، يمثل هذا الإعلان حجر الزاوية فى فهمنا الحالى عن الكون، ويعرف بمبدأ "التعادلية equivalence" .

يمكن لأى إنسان تحرك مع مصعد سريع أن يفهم ما يقصد آينشتاين بمبدأ التعادلية، فحين يبدأ المصعد فى التحرك لأعلى، يشعر المرء بقدميه يضغطان على أرضية المصعد، كما لو كان وزنه قد زاد، وحين يهبط المصعد يشعر كأن وزنه قد خف، كما لو أن الجاذبية قد تعادلت جزئيًا مع قوة ما ، يتضح من ذلك أن التسارع والجاذبية بينهما شيء ما مشترك، ولكنها خطوة جبارة أن يستنبط امرؤ من ذلك أنهما بالفعل نفس الشيء. ويعطى مثال آخر تصويرا لهذا المبدأ، فلو أن الكابل المتعلق به المصعد قد قطع، وفشلت كل وسائل الأمان فى منع الكارثة، فإن المرء سوف يشعر خلال السقوط أنه حر الحركة داخل الكابينة، بصورة من حالة انعدام للوزن .

ولكن ما الذى يحدث لشعاع ضوء صدر من أحد جوانب الكابينة للجانب الآخر؟ إنه يسير فى خط مستقيم، ولكن مراقبًا خارجيًا يرى الشعاع (لنفرض أن الكابينة من زجاج) سوف يرى أنه فى الفترة الزمنية التى عبر فيها الكابينة، فإن أرضيتها قد تحركت شيئًا ما، فيبدو بالنسبة له وكأن الشعاع قد انحنى فى مساره، والانحناء تأثير للجاذبية .

وعلى ذلك فلو أن الجاذبية والتسارع هما حقيقة نفس الشيء، فإن الجاذبية لا بد وأن يكون لها تأثير على الضوء ، وكما أنه بإمكانك أن تلغى الجاذبية فى حالة السقوط الحر، يمكنك أن تعطى إحساسًا بها فى حالة عدم وجودها، فتجعل كل شيء "يسقط" لأسفل فى حالة مركبة متصاعدة لأعلى (شكل ٢-٧) .



(شكل ٢-٧) يعطى كل من الجاذبية والتسارع المنتظم نفس التأثير الذى نسميه "الوزن"

لم يكن القول بانحناء الضوء مفزعًا كما رأينا، فقد قيل به نتيجة قوانين نيوتن عن الجاذبية ونظريتة الجسيمية للضوء، حقيقة أعطت الحسابات التى أجراها آينشتاين تطبيقا لمبدأ التعادلية نفس النتائج التى نجمت عن تطبيق الأسلوب الآخر، إلا أن المثير فى الموضوع أنه حين اتخذت خطوة إثبات صحة انحناء الضوء كان آينشتاين قد أتم نظرية كاملة عن الجاذبية والتسارع، هى النسبية العامة، وفى حسابات هذه النظرية يبلغ قدر الانحناء ضعف المستنبط بناء على نظرية نيوتن، وهذا القدر هو ما جعل الناس يهتمون بالنظرية، ولكن لم يكن هذا قد تم إلا عام ١٩١٩

لثلاث سنوات بعد إعلانه مبدأ التعادلية لم يُبد آينشتاين نشاطا فى تطوير نظرية مؤسسة على هذا المبدأ، وكان ذلك لعديد من الأسباب؛ فمع تزايد شهرة آينشتاين بدأ

يتقلد العديد من المناصب الأكاديمية، أولا كمحاضر فى جامعة برن، ثم مساعدا لأستاذ فى زيورخ، ثم أستاذا متفرغا فى براغ. وكانت أسرته تنمو، فقد رزق بابنه الأول هانز عام ١٩٠٤ ، ثم جاء إدوارد عام ١٩١٠ ، ولكن الأهم من هذا كله أن آينشتاين كان مشغولاً بالتطور العلمى الهام آنذاك، النظرية الكمية، فلم يكن مستعداً أثناء ذلك للنضال من أجل نظرية جديدة عن الجاذبية ، ولهذا السبب لم يعد إلى حقل الجاذبية إلا بعد أن وصلت أبحاثه فى الكمية إلى طريق مسدود، وكان ذلك فى براغ عام ١٩١١

نسبية الهندسة :

لقد كان فى ١٩١١ فى الواقع أن أخذ آينشتاين فى تطبيق فكرة انحناء الضوء على مروره بالقرب من الشمس ، وخرج بتوقع قريب من المتمخض عن تطبيق قوانين نيوتن ، والذى كان قد استنبط على يد الألمانى جوهان فون زولدنر عام ١٨٠١ . وقام آينشتاين بحساب تنبئه غير عالم بما قام به زولدنر من قبل، ومؤسساً ذلك على أن الضوء عبارة عن موجات (على الرغم من أنه هو نفسه كان حاسماً فى الانتصار لفكرة أن الضوء يتصرف أحيانا كجسيمات!) وقد جاءت النتائج شبه متطابقة ، وأبسط طريقة لفهم الأساس الذى بنى عليه الحساب الأول أنه كان مبنيًا على فكرة التواء الزمن نتيجة للجاذبية ، ففى عام ١٩١١ كان آينشتاين يناضل فى فزع مع عدد من المعادلات المعقدة التى تربط الزمن الملتوى مع الفضاء المسطح، وكان حرفيًا فى منتصف المسافة للوصول إلى القدر الصحيح من انحناء الضوء .

وبدأت الأمور تتحسن حين عاد آينشاين إلى زيورخ ، بعد أن ظل فى براغ قرابة العام، وكان ذلك بتخطيط من نفس الزميل الذى أعاره محاضراته منذ اثنى عشر عاماً، مارسيل جروسمان ، كان قد وصل إلى منصب رئيس قسم الفيزياء والرياضيات فى معهد البوليتكنيك .

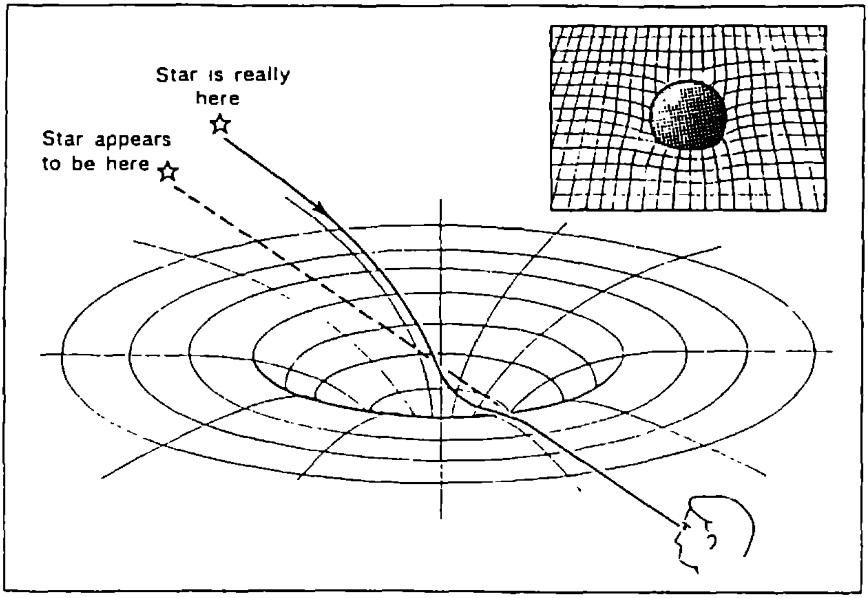
لقد كانت مسيرة جروسمان ، على عكس مسيرة آينشتاين ، تقليدية، رغم وصوله للمنصب فى سن مبكرة للغاية. كان أسن من آينشتاين بعام واحد ، وقد عمل بعد تخرجه مع آينشتاين عام ١٩٠٠ فى التدريس خلال تحضيره للدكتوراه، مع إصداره مؤلفين لتدريس الهندسة لطلبة المدارس العليا، ونشره بحثين عن الهندسة اللاإقليدية ، ونتيجة لهذا النشاط عُيِّن أستاذاً متفرغا فى البوليتكنيك عام ١٩٠٧ ، ثم عميداً فى ١٩١١ وهو فى الثالثة والثلاثين ، وبدأ نشاطه فى المنصب بإغراء آينشتاين بالعودة إلى زيورخ ، التى وصلها فى العاشر من أغسطس عام ١٩١٢ . كان عالما بأن بين يديه المادة الخام لنظرية متكاملة عن الجاذبية، ولكن ينقصه الأساس الرياضى الذى يمكنه من المتابعة ، يتذكر آينشتاين بعد ذلك بكثير النداء الذى وجهه لصديقه آنذاك: "مارسيل، مُد لى يد

العون وإلا فقدت عقلي". لقد أدرك آينشتاين أن الأسلوب المترى الذى وضعه جاوس (والذى أشرنا إليه آنفًا) فى وصف الأسطح المنحنية قد يحل المشكلة، ولم يكن يعلم شيئًا عن هندسة ريمان، لكنه كان يعلم أن صديقه عبقرى فى نوع من الهندسة اللاإقليدية، وهو سبب لجوئه إليه. "لقد سألته إن كانت الهندسة الريمانية قادرة على حل مشكلتي" ، وجاءت الإجابة ببساطة أن "نعم" . ورغم أن الأمر تطلب بعض الوقت لترتيب التفاصيل ، إلا أن الإجابة المباشرة فتحت باب الأمل أمام آينشتاين ، لدرجة أن يكتب إلى صديقه فى ١٦ أغسطس "إن الأمور تجرى عظيمة بالنسبة للجاذبية، وإذا لم أكن مخدوعًا ، فإننى على وشك التوصل لأكثر المعادلات عمومية" .

وأخذ آينشتاين وجروسمان يدرسان مغزى الزمكان المنحنى (التواء كل من الفضاء والزمن)، ونشرا ذلك فى ورقة بحثية مشتركة عام ١٩١٣ ، وانتهى التعاون بين الطرفين بقبول آينشتاين منصب رئيس لمعهد القيصر فيلهلم فى برلين عام ١٩١٤ ، وهو منصب من الصعب مقاومة إغرائه ، يتضمن إعفاءه من مهمة التدريس والتفرغ الكامل لأبحاثه، وظل آينشتاين وجروسمان على عهدهما من الصداقة إلى وفاة جروسمان عام ١٩٣٦ ، وفى برلين أكمل آينشتاين مسيرة النسبية العامة بمفرده .

وقُدمت الصورة النهائية من النظرية فى ثلاث جلسات فى أكاديمية العلوم ببرلين فى نوفمبر عام ١٩١٥ ، وطبعت عام ١٩١٦ . وللنظرية مضامين كثيرة، ما يهمنا فيها فى موضوعنا هو كيفية استخدام آينشتاين الهندسة الريمانية لوصف الفضاء المنحنى، إن جرمًا جسيمًا مثل الشمس يحدث ندبة فى الفضاء كتلك التى تحدثها كرة ثقيلة فى سطح مطاطى إذا وضعت فوقه، وأقصر مسافة بين نقطتين على هذا السطح لن يكون خطًا مستقيمًا كما تعودنا تصوره، بل المنحنى الذى أطلقنا عليه سابقًا الجيوديسي. نفس الشيء ينطبق على الفضاء ثلاثى الأبعاد ، وسوف ينعكس ذلك على مسار شعاع الضوء فى الفضاء (شكل ٢-٨). ولكننا قد رأينا أن آينشتاين قد اكتشف انحناء الضوء بالقرب من الأجرام الجسيمة بناء على التواء الجزء الزمنى من الزمكان أيضًا، وقد اتضح أن التواء الجزء الفضائى منه يعطى نفس التأثير، وتكون محصلة النظرية كاملة هى ضعف كلا التأثيرين كلاً على حدة [1] . ولهذا السبب فإن قياس الانحناء عام ١٩١٩ توافق مع آينشتاين وليس نيوتن، الأمر الذى حدا بالصحف أن تعلن نهاية نظرية نيوتن للجاذبية، ولم تكن فى ذلك على حق .

(١) الواقع أن الجزء الفضائى من الانحناء هو الذى يتفق مع نظرية نيوتن، والجزء الزمنى هو إضافة النسبية .



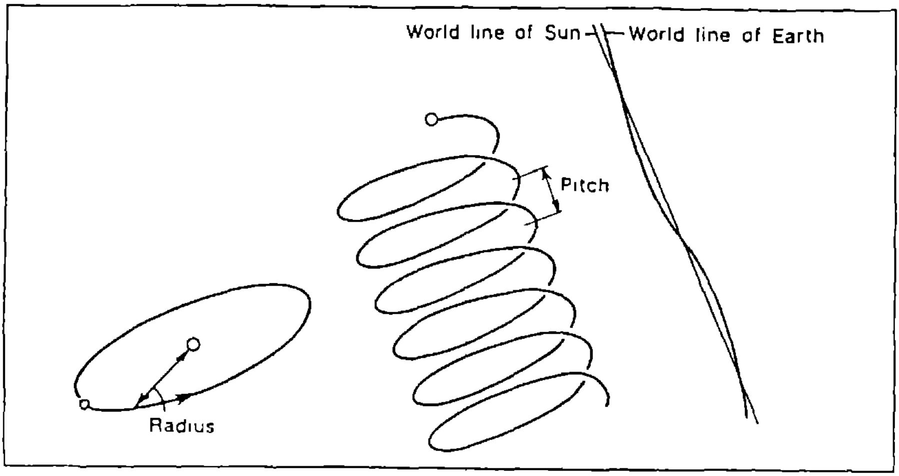
(شكل ٢-٨) يصنع الجسم الثقيل حين يوضع على سطح مطاطى إنحناء فيه ، يماثل ذلك ما تفعله الأجرام الثقيلة فى الزمكان .

ما كان يفعله آينشتاين حقيقة هو شرح قانون نيوتن للجاذبية. إن هناك فروقا دقيقة بين نظرية نيوتن البسيطة ونسبية آينشتاين العامة، كانحناء الضوء بسبب الشمس ، ولكن الأمر الذى له اعتباره حقيقة هو أنه إذا كانت الجاذبية نتيجة لانحناء الزمكان رباعى الأبعاد، فإن صورتها الوحيدة هى قانون التربيع العكسى ، فهذا القانون يستنبط بصورة طبيعية للغاية من ذلك الانحناء وهكذا يكون آينشتاين ، على عكس نيوتن ، قد وضع بالفعل فرضًا يصور مضمون الجاذبية ، إن فرضه هو أن انحناء الزمكان هو ما يسبب الجاذبية، ونتيجة هذا الفرض أن الجاذبية تتبع قانون التربيع العكسى ، فالقول بأن آينشتاين قد هدم نظرية نيوتن عن الجاذبية هو قول أبعد ما يكون عن الحقيقة، والتى تبّين أنه قد شرحها بما زادها رسوخًا .

وأفضل طريقة لعرض هذا الأمر هو تصور حوار يجرى بين المادة والزمكان ، فلكون المادة موزعة بغير انتظام فى الكون، فإن الزمكان غير متساوٍ، مما ينتج عنه أن تكون طبيعة هندسته نسبية، فتكون طبيعة المترى (القياسى) - والتى تحدد عن طريق

مثلثات فيثاغورثية ضئيلة - مختلفة بحسب الموضع من الكون ، فتكدس المادة يشوه الزمكان ليس بتكوين تلال كما تصور كليفورد، بل بتكوين أودية تتحرك الأجسام فيها طبقا للجيوديسي، والتى يمكن أن ينظر إليها كخطوط أقل مقاومة ، ويمكنك قياس أطوال هذه المسارات عن طريق مثلثات فيثاغورثية غاية فى الضآلة، تجمع بواسطة علم التفاضل الذى وضعه نيوتن. ولكن حجراً ساقطاً أو كوكبا فى مدار لا يحتاج لإجراء هذه الحسابات ، فهى تتبع الطريق الطبيعى لها . ومن وجهة نظر معينة، تخبر المادة الزمكان كيف ينحنى ، ويخبر الزمكان المادة كيف تسير .

على أن نقطة معينة تثير اللبس على الدوام، إننا لا نتحدث فقط عن انحناء الفضاء ، إن مسار الأرض حول الشمس مثلا هو منحنى مغلق فى الفضاء، فلو أنك تصورت هذا المنحنى يمثل انحناء الفضاء نتيجة للجاذبية تكون قد وقعت فى خطأ تصور أن الفضاء مكور حول الشمس، فالضوء، بل والمركبات الفضائية مثل فوياجير، بإمكانها أن تنطلق بعيداً عن النظام الشمسي. إن ما عليك تذكره هو أن كلا من الأرض والشمس تتبع خطًا كونيًا خاصًا بها. ولكون معامل سرعة الضوء يدخل فى الجزء الزمنى من مترى الزمكان كما وضعه منكوفسكى ، ويدخل هذا فى المترى المناظر للنظرية النسبية العامة، فإن الخط الكونى يكون ممطوطاً فى اتجاه الزمن بصورة شديدة، وعلى ذلك فإن الطريق الطبيعى للأرض حول الشمس ليس منحنى منغلقًا ، بل حلزونًا ممطوطًا بدرجة هائلة فى الفضاء. (راجع شكل ٢-٩ لسهولة تتبع الشرح) . إن الضوء يستغرق ثمانى دقائق وثلث الدقيقة لكى يصل من الشمس للأرض، ولذا فإن كل دورة للأرض حول الشمس تمثل دائرة محيطها ٥٢ دقيقة ، تقطعها الأرض فى سنة كاملة، أى أنها تتحرك خلال الزمكان ما قيمته سنة ضوئية ، بمعنى آخر فإن الحلزون الذى ترسمه الأرض فى الزمكان له خطوة تعادل أكثر من ٦٣ ألف مرة قدر قطره .



(شكل ٢–٩) مسار الخط الكونى للأرض فى الزمكان حين تدور حول الشمس .

لو كان الزمكان مستويًا لرسمت الأرض خطًا مستقيمًا فى المحور الزمنى ، وعلى ذلك فإن تأثير الشمس هو انحناء طفيف لهذا الخط ، بحيث يرسم هذا الحلزون البالغ المط. أما لكى ينغلق الفضاء بدرجة أكثر، فإن الأمر يتطلب جرمًا أكثر كتلة ، أو أكثر كثافة، من الشمس .

بعد عدة أسابيع قليلة عاد آينشتاين إلى أكاديمية العلوم ليقدم تقريرًا عن الحل الكامل لمعادلاته التى تصف مثل هذه الظواهر. كان هذا أول وصف رياضى كامل لظاهرة الثقوب السوداء، ولكنه لم يكن من وضع آينشتاين ، لقد كان يقرأ التقرير نيابة عن شخص أرسله له، كان قدره أن يواجه الاحتضار بعد ذلك بوقت قصير فى مستشفى بمدينة بوتسدام .

حل شفارتزشلد المتفرد :

لعلها مفاجأة للكثيرين أن آينشتاين لم يكن هو الذى قام بحل معادلاته الخاصة بالنسبية العامة ، ولكن المعادلات يجب أن توضع قبل أن تحل ، وعلى الرغم من

المجهود المضنى لوضع مجموعة من المعادلات المترابطة لتصف شيئًا غاية فى التعقيد كسلوك الزمكان الملتوى بسبب المادة التى يحتويها ، فإن ذلك المجهود ليس ضمانًا لقابلية المعادلات للحل. فما فعله آينشتاين أشبه بمن قام بوضع لغز للكلمات المتقاطعة ، وبعض الإشارات التى تؤدى لحله ، دون أن يعلم شخصياً الكلمات التى تتوافق معه ، ثم أتى شخص آخر ليتولى هذه المهمة .

كان هذا الشخص فلكيًا من الطراز الأول، أسن من آينشتاين بست سنوات ، كان قد تجاوز الأربعين عند تفجر الحرب العالمية الأولى، على أن حماس كارل شفارتزشلد Karl Schwartzchild دفعه إلى ترك منصبه كمدير لمرصد بوتسدام ليتطوع فى الجيش (بالمناسبة؛ كان قد تولى إدارة مرصد جوتنجن، رابطة أخرى تربط بين المدينة والنسبية). خدم شفارتزشلد فى بلجيكا فى محطة للطقس، ثم فى فرنسا للقيام بحساب مسار المقذوفات بعيدة المدى ، ثم أُرسل إلى الجبهة الروسية حيث أصيب بمرض عضال لقى فيه حتفه .

كان شفارتزشلد على اتصال دائم مع الحركة العلمية خلال نشاطه العسكري، وحين سمع عن معادلات آينشتاين فُتن بها ، ففى المقام الأول كان قد تولى منصبًا تولاه جاوس من قبل، وكان هو نفسه، مثل كليفورد، ممن جادلوا، قبل تخرج آينشتاين، فى أن تكون هندسة الفضاء غير إقليدية ، وكان قد أتم الأوراق التى قدمها آينشتاين بالنيابة عنه للأكاديمية العلمية قبل إصابته بذلك المرض بفترة وجيزة. ففى السادس عشر من يناير ١٩١٦ قرأ آينشتاين بحثا أمام أعضاء الأكاديمية يتضمن الصيغة الرياضية المنضبطة التي تصف هندسة الزمكان حول نقطة ، ثم فى الرابع والعشرين من فبراير قرأ بحثًا ثانيًا تضمن المعادلات التى تصف تلك الهندسة حول جسم مادى مركز ، وفى الحادى عشر من مايو فاضت روح شفارتزشلد ، قبيل عيد ميلاده الثالث والأربعين بأيام ، ومع تاريخه الفلكي كمدير لمرصدين من أكبر المراصد ، فإن التاريخ يذكره بهذين البحثين اللذين أتمهما فى الشهور الأخيرة من حياته .

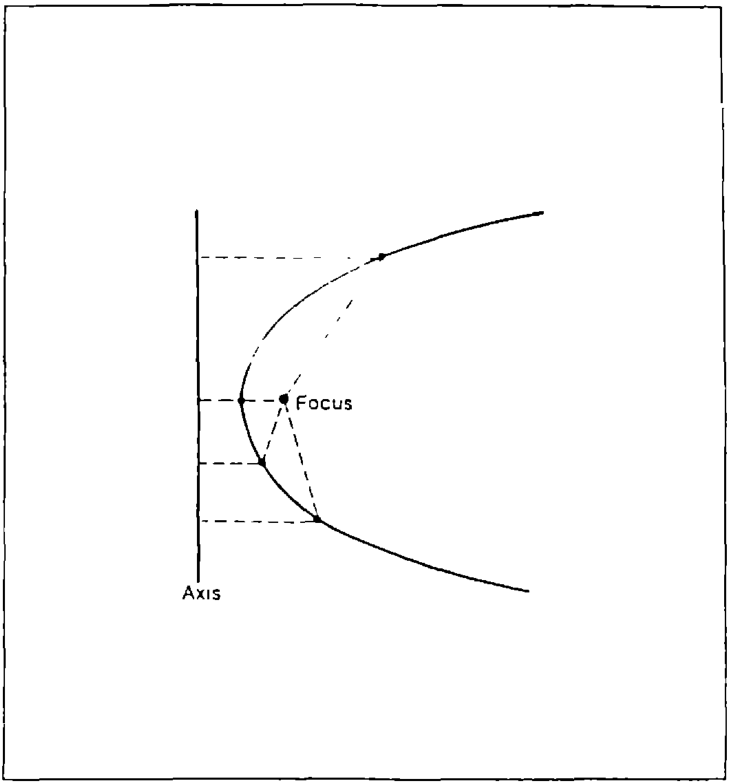
كان تناول شفارتزشلد المبدئى للموضوع على نفس أسلوب نيوتن فى تناوله لمسألة الجاذبية بين الشمس والأرض، أو بين الأرض والقمر، أو بينها وبين التفاحة، كما لو كانت الكتلة مركزة فى نقطة رياضية تقع عند المركز. هذا التصور ملائم تمامًا لمراقب خارجى ، على أن حل شفارتزشلد قد بين أنه لا خارج بالنسبة لمثل هذه النقطة ، فإن

نقطة تتركز فيها المادة سوف تشوه الزمكان لدرجة طى الفضاء حولها بما يفصلها عن بقية الكون ، ويحدث هذا الانفصال على مسافة تعتمد على كمية المادة المركزة .

ليس هذا برأى واقعى بطبيعة الحال، فالكتل الحقيقية لا تركز أبداً فى نقاط رياضية ، وعلى ذلك فقد تابع شفارتزشلد البحث وبيَّن أنه فى حالة كتلة متكورة، يعتمد الأمر على نصف قطر التكور، وأن الانفصال يحدث عند نصف قطر يسمى الآن بـ "نصف قطر شفارتزشلد " Schwarzchild radius أو "نصف قطر الجاذبية gravity radius" فلو تكور قدر مناسب من مادة بنصف قطر أقل مما حدده شفارتزشلد، حتى ولو لم تركز فى نقطة رياضية، فإن الفضاء سوف يلتوى حولها لدرجة أن ينفصل عن بقية الكون ، لن يسمح هذا الانفصال بخروج أى شيء على الإطلاق، بما فى ذلك أشعة الضوء .

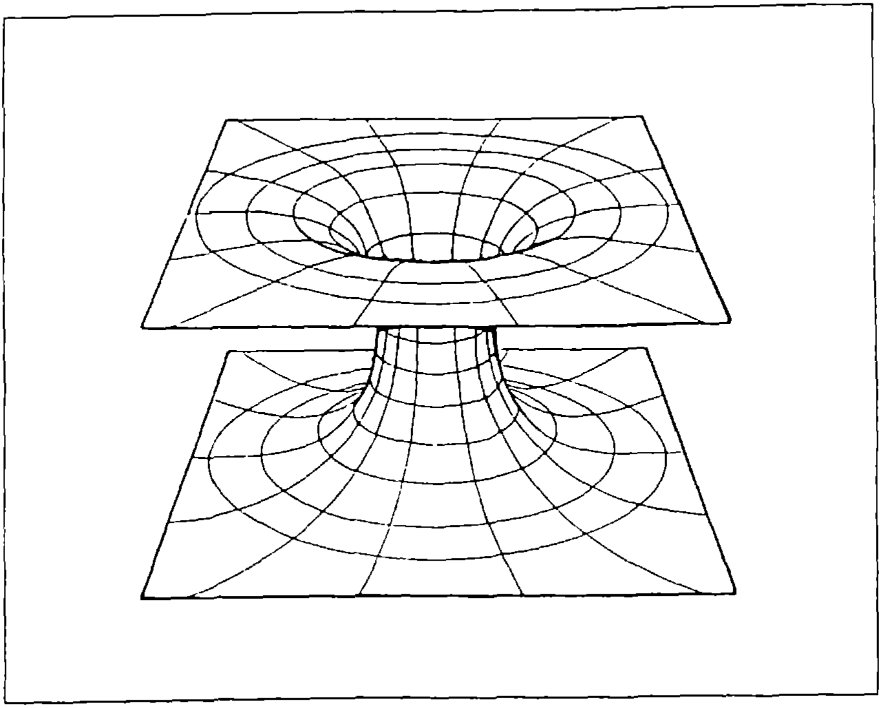
كلما كبرت المادة، زاد نصف قطر الجاذبية لها، فالشمس لكى تحدث انفصالاً فى الفضاء يجب أن تركز فى كرة نصف قطرها ٢,٩ من الكيلومترات ، وللأرض فى ٠,٨٨ من الكيلومترات ، ولمجرة تقليدية عدة آلاف من الكيلومترات. والبروتون نفسه له نصف قطر جاذبية، حتى وإن لم يزد عن ٢,٤×١٠ $^{-٥٢}$ سم . فى كل هذه الأحوال، لو تمكنت من تكديس المادة فى كرة تقل عن نصف القطر المذكور ، سوف تخلق ما يسمى اليوم بالثقب الأسود، والذى تبلغ سرعة الهروب عند سطحه سرعة الضوء .

وأفضل طريقة لتصور تشوه هندسة الزمكان التى تؤدى لهذه النتيجة هو تخيل مسطح منحنٍ ثنائى الأبعاد فى الأبعاد الثلاثة، فهندسة الزمكان التى وصفها شفارتزشلد هى التى تنتج من إدارة منحنٍ على شكل قطع مكافئ كالمبين فى (شكل ٢-١٠) فى الفضاء ، وفيها تقع كافة النقاط على أبعاد متساوية من نقطة تسمى البؤرة ، وخط مستقيم يسمى المحور .



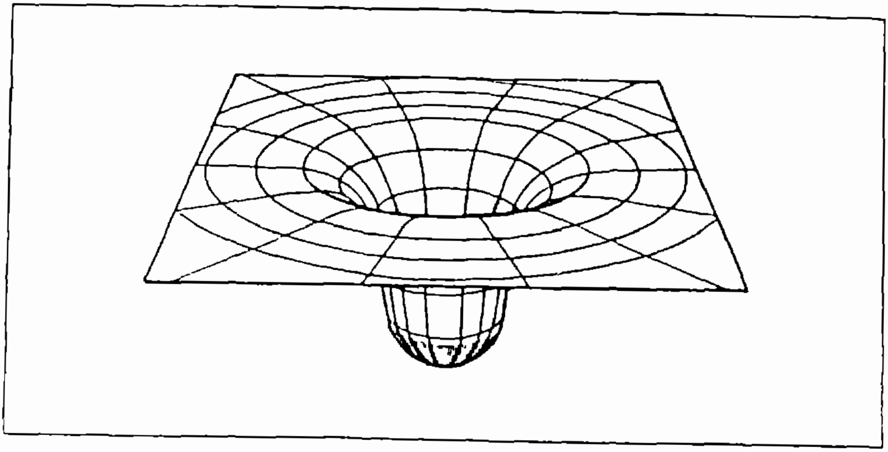
(شكل ٢–١٠) تقع كافة النقاط على منحنى القطع المكافئ على نفس المسافة من البؤرة ومن المحور.

ولو تصورت دوران منحن كهذا حول المحور لحصلت على مجسم أملس متماثل تمامًا بالنسبة لمحوره (شكل ٢–١١). مثل هذا المجسم له خصر فى منتصفه، ثم يتفرطح تدريجيًا إلى طرفيه حتى يستحيل، على بعد كبير من الخصر، إلى مسطح مستوٍ، يقابل كون الجاذبية قد أصبحت غاية فى الصغر، إذ كلما كان الانحناء أكبر، دل ذلك على قوة الجاذبية، أو بلغة نيوتن كانت سرعة الهروب أكبر. فلو تصورت نفسك منزلقًا من المسطح المستوى إلى منطقة الخصر، فستجد أن فرصتك فى النجاة بعيداً عن المنحدر تزداد صعوبة ، وعند الوصول إلى منطقة معينة، يمكن تصورها ككرة ترسم عند عنق المجسم، يستحيل الفرار، فأى شيء يتجاوز سطح هذه الكرة يكتب عليه البقاء فى ذلك المجسم إلى الأبد .



(شكل ٢-١١) انحناء الفضاء حول ثقب أسود يماثل دوران قطع مكافئ حول محوره.

يعطى حل شفارتزشلد لمعادلات آينشتاين نفس ما توصل إليه نيوتن عن الجاذبية، قانون التربيع العكسي. وفى حالة كالشمس، حيث المادة ليست مركزة بالقدر الكافى لصنع ثقب أسود، فإنه بدلا من أن تصنع مجسمًا ذا خصر، تصنع مجسمًا أشبه بحفرة ذات قاع كروى (شكل ٢-١٢). لن يصل الانحدار إلى درجة عدم الفرار. ولكن، ما الذى يحدث عند مركز الثقب الأسود؟ يقول شفارتزشلد إن الانحناء سوف يصل إلى مالا نهاية! يسمى هذا الوضع "مفردة، أو نقطة تفرد singularity .



(شكل ٢-١٢) يصنع جرم كالشمس حفرة فى نسيج الزمكان، تشبه التى يصنعها الثقب الأسود ولكن مقفلة عند القاع بقاعدة كروية .

إن الحل الذى يحتوى على نقاط تفرد، أو لانهايات، يعتبر لدى أغلب الفيزيائيين حلاً معيباً ، حيث يخالف الطبيعة التى تأبى وجود لانهايات ، لهذا السبب لم يؤخذ حل شفارتزشلد بمعناه المباشر لدى علماء ذلك العصر ، فرغم أن العديد من العلماء قد قدحوا الذهن حول الموضوع، وأن النسبية العامة قد اجتازت كافة الاختبارات بكل جدارة، إلا أن حل شفارتزشلد كان يعتبر بلا قيمة عملية بالنسبة للكون الواقعى .

ولكن على أى حال كان هذا هو الحل الصحيح لمعادلات آينشتاين، يصف الزمكان طبقا للنظرية النسبية العامة، كتب قبل أن يجف مداد كتابتها، وقبل ثلاث سنوات من الاختبار ذائع الصيت لها ، كان مقدرا أن يمر نصف قرن بالتمام والكمال على وفاة شفارتزشلد قبل أن يفطن العالم إلى مغزى الحل التفردى الذى توصل إليه .

الفصل الثالث

النجوم المكتنزة

أقزام تنحل إلى أن تحترق بلهب أبيض . بصيرة هندى فى المصير النهائى للمادة . فيما وراء حدود الكم. فناء النجوم . الثقوب السوداء يعاد اكتشافها - ثم تنسى لخمسة وعشرين عاما ! النابضات الغريبة . رجال خضر صغار ، وتأكيد من سديم السرطان .

إن حساب البعد بين الأرض والشمس وكواكب المجموعة الشمسية يتم بتطبيق مباشر لقواعد حساب المثلثات المستخدم فى الحسابات الأرضية ، يعنى ذلك أن الحسابات فى حد ذاتها بسيطة ، شريطة أن يبذل الجهد المضنى لعمل القياسات المطلوبة لإجرائها ، تشمل هذه الإجراءات مثلا مراقبة المريخ من موقعين على جانبى المحيط الأطلنطي ، واستخدام هذا القياس فى رسم مثلث غاية فى النحافة قاعدته عرض المحيط ورأسه عند المريخ . وبمعرفة مسافة الشمس يمكن حساب حجمها الحقيقى من الحجم الظاهرى لها فى السماء ، والتى تبلغ ١٠٩ مرة قدر قطر الأرض [١] ، أى تسمح بتكدس أكثر من مليون من الكرات الأرضية بجوفها ، وبمعرفتنا بعد الشمس وزمن الدوران حولها يمكننا أن نحسب قوة التجاذب فيما بين الأرض والشمس ، ومن ذلك كتلة الشمس .

وتبلغ كتلة الشمس ثلث مليون مرة قدر كتلة الأرض ، وحيث إن حجم الشمس عدة ملايين قدر حجم الأرض ، فإن ذلك يعنى أن الكثافة المتوسطة للمادة بها تبلغ ثلث قيمتها فى الأرض ، ولما كانت كثافة الأرض المتوسطة هى ٤,٥ مرة قدر الماء ، فإن كثافة الشمس المتوسطة تكون فقط ١,٥ مرة قدر الماء .

(١) يتناسب الحجم مع مكعب نصف القطر ، ومكعب العدد ١٠٠ هو مليون .

ولعله أمر يدعو للاستغراب أن تكون كثافة النجوم منخفضة عن كثافة الكواكب ، ولكن تذكر أنها كثافة متوسطة ، تخفى الاختلاف الشديد بين كثافة المناطق المختلفة ، من جو خفيف للغاية إلى قلب تبلغ الكثافة فيه أضعاف كثافة الرصاص (ومع ذلك فإنه من العجب أنه مع ما للقلب من حرارة وضغط شديدين تظل المادة فيه تتصرف كما لو كانت من الغازات) ، إن تغير الكثافة ، والمتوسط الكلي ، يتفقان تمامًا مع التركيب الذى يستنبط من حسابات فيزيائية لشرط بقاء النجوم على ما هى عليه من حرارة .

وتتناسب درجة حرارة السطح تناسبًا مباشراً مع لونه ، فالنجم ذو السطح الأبيض الضارب للزرقة أشد حرارة من السطح الأصفر ، وهذا الأخير أشد حرارة من الأحمر ، وفيما بين هذه الحدود العديد من درجات الاختلاف (تبلغ حرارة سطح شمسنا الضارب بين الأصفر والأحمر ستة آلاف درجة مئوية ، وهى تقع فى موقع متوسط بدرجة كبيرة بين ألوان النجوم) ، وقد تتوقع أنه على وجه العموم تكون النجوم الأكثر حرارة هى الأكثر ضياء ، وأنت فى ذلك على وجه العموم محق ، على أن الأمر لا يخلو من استثناءات . إن هذه القاعدة لا تنطبق إلا بالنسبة للنجوم التى هى فى حجم متقارب فيما بينها ، فمن أبسط خصائص النجوم أن شدة إضاءتها تعتمد على حرارة سطحها ، وأيضًا على حجمها ، فالنجم الذى له مساحة سطح كبيرة ، حين يتوزع إشعاعه على سطحه ، يعتبر من النجوم الباردة ، ولكنه قد يظل عالى الإضاءة ببساطة لأن عدد الأمتار المربعة التى تشع كبير ، فلكى يشع نجم أصغر حجمًا بنفس الدرجة يجب أن تكون درجة حرارته أكبر .

فى نفس الوقت الذى كان فيه آينشتاين غارقًا فى التفكير فى نسبيته ، وشفارتزشلد يكدح الذهن لحل معادلاتها ، كان الفلكيون يتعجبون لوجود نجوم حارة ومعتمة فى نفس الوقت ذات حجم يقترب من حجم الأرض ، ولكنها من حيث الكتلة تقترب من الشمس ، والإيحاء المباشر لذلك أن كثافتها تبلغ آلاف المرات قدر كثافة الماء .

الرفاق الأقزام :

فى الواقع ترجع أول إشارة لاحتمال وجود مثل هذه النجوم المكتنزة (صغيرة الحجم كبيرة الكتلة) لعام ١٨٤٠ ، نتيجة لأرصاد فلكى ألمانى هو فردريك بسل Friedrich Bessel . ولد بسل عام ١٧٨٤ وتوفى عام ١٨٤٦ ، بعد سنوات قلائل من اكتشافه أول دليل على وجود ذلك النجم المكتنز المعتم ، على أن هذا الاكتشاف ليس

سبب شهرته ، بل إنجازه العظيم فى قياس البعد عن نجم آخر ، لقد استخدم نفس أسلوب حساب المثلثات إلى أقصى مداه ، مطبقًا الفكرة على نجم يسمى دجاجة ٦١ Cygni 61 ، راصدًا إياه والأرض على جانبين متقابلين من الشمس ، أى على مدار فترة ستة أشهر ، وقد أعطاه ذلك قاعدة مثلث تبلغ ٣٠٠ مليون كيلومتر ، ثم استخدم الحركة الظاهرية للنجم فى تلك الفترة (وهى فى الواقع نتيجة دوران الأرض حول الشمس) ، وقدر من ذلك أن ضوء ذلك النجم يقطع عدة سنوات للوصول إلى الأرض ، بسرعة الضوء التى تبلغ ثلاثمائة ألف كيلومتر فى الثانية الواحدة ، وقد كان هذا أول إشارة إلى الحجم الحقيقى للكون .

وعلى هذا الأساس رصد بسل وسجل البعد الدقيق لخمسمائة ألف نجم ، وتفيد حركة النجوم الظاهرية فى قياس أقرب النجوم للأرض فقط ، فبالنسبة للأبعد منها لا تكفى حتى مسافة ٣٠٠ مليون كيلومتر لإعطاء حركة ظاهرية تصلح لإجراء حساب دقيق .

وكان اكتشاف نجوم مكتنزة نتيجة لعمليات الرصد التى قام بها ، إذ لاحظ أن بعض النجوم تتغير مواضعها فى السماء بصورة رتيبة ، ليس بسبب حركتها الظاهرية ، بل بسبب أن قوة هائلة تشدها . فقد وجد أن نجمين لامعين ، هما الشعرى اليمانية Sirius (ألمع نجوم السماء فى الواقع ، من جهة بسبب شدة لمعانها حقيقة ، ومن جهة أخرى بسبب قربها من الأرض) والثانى هو الشعرى الشامية Procyon ، كلاهما يتأرجح ذات اليمين وذات اليسار بصورة منتظمة ، فى حركة ليست معللة بدوران الأرض حول الشمس ، كان الرأى المنطقى أن كلاً منهما له قرين غير منظور ، يتبادل معه التجاذب .

وقد دلَّت الأرصاد الدقيقة لطريقة حركة الشعرى اليمانية على طبيعة مسار القرين غير المنظور ، فلمعان الشعرى ضعف لمعان أى نجم آخر ، ويُرى واضحًا بالقرب من كوكبة الجبار Orion ، وبسبب قربه النسبى لنا (فقط ٨,٧ سنة ضوئية) فإنه يتحرك أمام خلفية نجوم السماء ، وجميع النجوم تتحرك بنفس الصورة ، ولكن بسبب بعدها السحيق تبدو ثابتة من عام لآخر . وحتى هذا النجم يبدو تأرجحه مجرد ١,٣ ثانية كل عام [1] ، ويدلنا هذا التأرجح على أن دورة النجم الغامض حول الشعرى هى ٤٩ عامًا ، ومن

(١) الثانية فى قياس المواضع ليست ثانية زمنية ، بل جزءا من ستين جزءا من الزاوية – المترجم .

ذلك حسب الفلكيون ، متسلحين بقوانين كبلر حول حركة النجوم ونيوتن عن الجاذبية ، كتلة كل من الشعرى اليمانية وقرينها ؛ تبلغ الشعرى أقل قليلا من مرتين ونصف قدر كتلة الشمس ، أما قرينها ، والذى سمى الشعرى ب ، فيبلغ تقريبا ٨٠٪ من كتلة الشمس ، والشعرى نجم حار لامع فى السماء ، أما قرينه المعتم فيجب أن يكون نجمًا باردًا .

وكان أول من رأى قرين الشعرى اليمانية هو ألفن كلارك **Alven Clark** ، صانع تلسكوبات أمريكي ، كان ذلك عام ١٨٦٢ أثناء تجربته تلسكوبا قطر عدسته ١٨ بوصة، وقد بلبلت عتمة قرين الشعرى اليمانية وقرين الشعرى الشامية الفلكيين لخمسين سنة تالية ، زادت باكتشاف جرمين سماويين آخرين على نفس الشاكلة . كان الانطباع الأولى للفلكيين عن هذه الظاهرة هى ما لخصه سيمون نيوكومب **Simon Newcomb** فى كتابه الذى نشر عام ١٩٠٨ ؛ فقد قال مشيرا إلى قرينى الشعرى اليمانية والشامية : "إما أن إضاءتهما أقل كثيًرا من الشمس أو أن كثافتهما أكبر بكثير ، وليس من شك فى أن البديل الأول هو الصحيح" (١) ، إن البديلين المذكورين هما فى الواقع كل البدائل المتاحة ، ولكن استنتاجه كان خاطئًا .

حتى نيوكومب كان يجب أن يكون متشككا فى رأيه ، فرغم عدم رؤية قرين الشعرى بوضوح نتيجة شدة لمعانها ، فإنه من المؤكد أن له نفس لونها الأبيض ، مما يدل على أنه نجم حار ، وقد تأكد هذا بعد وفاة نيوكومب بست سنوات . ففى عام ١٩١٥ حيث كان قرين الشعرى اليمانية فى أبعد مسافة عنها ، تمكن الفلكى الأمريكى والتر آدمز من التقاط صورة واضحة نسبيًا له ، وكان المثير فى تحليل طيف إشعاعه مدى ما لديه من طاقة تشع على كثير من الترددات ، مما يعطى فكرة واضحة عن درجة حرارته ولونه ؛ لقد بدا الطيف مشابها لطيف الشعرى المقترنة به ، مما يدل على أنه فى نفس درجة حرارتها ، وأنه أصغر منها بكثير ،أكبر قليلا من حجم الأرض .

كان البديل الثانى أن النجم لا يشع إطلاقًا ، وأنه يعكس فقط ضوء الشعرى كما يعكس القمر ضوء الشمس ، ولكن آدمز كان لديه الإجابة عن ذلك ، لقد بيَّن أن نجمًا آخر ، هو النهر ب **Eridani B** له نفس ظروف قرين الشعرى من حيث الطيف واللمعان ،

(١) كتاب The Stars, Publisher John Morray, London ولد نيوكومب فى كندا وعاش بين ١٨٣٥ و١٩٠٩ ، وكان مساره العلمى رائعًا ، حيث عمل فى المرصد البحرى بواشنطون وفى جامعة جونز هوبكنز ، كما أسس جمعية الفلكيين الأمريكيين وكان أول رئيس لها ، يمثل تعليقه الرأى الذى كان سائدا آنذاك .

وليس له قرين . إن كلا من الشعرى ب والنهر ب يجب أن يكونا أقزامًا بيضاء ، لهما كثافة تبلغ عشر آلاف كثافة الرصاص .

والغريب أن النجم النهر ب قد شوهد قبل ذلك بخمس سنوات ، ولكن ملاحظيه لم يعطوه العناية الكافية ، ومن قام بذلك هو الفلكى ذائع الصيت هنرى نوريس رسل Henery Norris Russel الذى اشترك فى وضع ما يسمى «مخطط رسل» هرتزشبرونغ Hertzsprung-Russel diagram الذى ربط بين لمعان النجوم ودرجة حرارتها .

وتصنف النجوم بحسب ألوانها طبقًا لنظام وضعه مرصد جامعة هارفارد فى بداية القرن العشرين ، وتعرف الفئات بأحرف هجائية ؛ .O, B, A, F, G, K, M ، وتقع النجوم O, B ضمن البيضاء الحارة ، والنجوم K, M ضمن الحمراء الباردة ، أما شمسنا فتصنف من الفئة G (١) ، وقد احتاج رسل إلى أطياف أكبرُ عدداً من النجوم كى يخرج بقاعدة تربط بين اللمعان ودرجة الحرارة ، وقد وافق مدير مرصد هارفارد؛ إدوارد بكرنج Edward Pickering على إمداده بذلك ، وقد أدى ذلك إلى أن يكتشف رسل أن كل النجوم الخافتة جدا تقع فى الفئة M .

تردِّى النجوم :

إن طبيعة الأقزام البيضاء قد فُهمت فى العشرينات بعد التطور الذى حدث فى دراسة التركيب الداخلى للنجوم عامة ، وينسب فضل الريادة فى هذه الدراسة للسير أرثر إدنجتون Arther Edington ، نفس الشخص الذى قاد فريق تجربة إثبات انحناء الضوء عام ١٩١٩ ، والذى أضحى عملاقًا بين زملائه من علماء الفلك ، وقد جمع بين دراسة الفلك والنظرية الكمية .

وقد كان التقدم فى هذه الدراسة بطيئًا بسبب بطء الدراسة التى تقوم عليها ، ألا وهى دراسة التكوين الذرى للمواد ، والتى كانت نفسها تسير معها جنبًا إلى جنب . ومن أهم الأسس التى تقوم عليها دراسة التركيب النجمى الداخلى هو فهم كيف يكون قلب نجم كالشمس على هذه الدرجة من الضغط الهائل والحرارة الشديدة ، وتظل تتصرف كما لو كان قلبها من غاز صرف ، ويكمن السر فى طبيعة تكوين الذرة ذاتها ، فهى كما نعلم تتكون من نواة تضم نوعين من الجسيمات الثقيلة نسبيا؛ النيوترانات

(١) يمكن تذكر هذه الحروف بترتيبها من العبارة : Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me

والبروتونات ، تحيط بها سحابة من جسيمات أخف بمراحل؛ ألا وهى الإلكترونات ، ويشبه حجم النواة بالنسبة إلى حجم الذرة حجم ذرة رمل وسط ملعب كرة قدم .

وفى حالة الغازات ، كالهواء الذى تتنفسه ، تتصادم الذرات فيما بينها تصادمًا سريعًا مستمرًا ، أما فى حالة الأجسام الصلبة فكل ذرة تتأرجح فى موضعها ، لا تتماس فيما بينها إلا بالكاد ، وفى الحالة السائلة تمر الذرات محتكة ببعضها البعض ؛ فى كل هذه الحالات تظل النواة فى عمق الذرة بمنأى عن التصادم أو التماس أو الاحتكاك ، فلا يعانى من ذلك إلا الإلكترونات .

أما فى ظروف قلب النجوم من حرارة وضغط هائلين ، فإن التصادم الذرى يكون هائلا ، لدرجة أن الإلكترونات تُطرد لتعرى النُويَّات الذرية ، مكونة سائلاً يعرف بالبلازما plasma ، فحين تعرى كافة الذرات فى مادة من إلكتروناتها ، يمكن للبلازما المتخلفة عنها أن تُضغط إلى جزء من ألف مليون مرة من حجم المادة الأصلي ، وتظل مع ذلك تتصرف كما لو كانت غازا ، إذ تتصادم النويات بعنف كما تتصادم الذرات فى الحالة الغازية سواء بسواء ، هذا ما يحدث فى قلب الشمس والكثير من النجوم الأخرى . وفى معمعة التصادمات العنيفة ، يمكن لبعض النويَّات أن تلتحم ببعضها البعض ، لتتحول من عنصر إلى آخر ، يعرف هذا الطبخ النووى باسم الاندماج النووى nuclear fusion ، والذى ينتج عنه طاقة هائلة نعرفها فى القنبلة الهيدروجينية ، ويبدأ الاندماج النووى فى قلب النجوم بتحول الهيدروجين إلى هيليوم ، وتطرد الطاقة المتولدة عنه كإشعاع نجمي ، وهو الذى يعطى النجوم حرارتها .

ولكن ما الذى يحدث حين تستنفد طاقة الاندماج النووى داخل النجوم ، فيبدأ النجم فى البرودة؟ قد تتوقع أن تبدأ النويات فى استرداد الإلكترونات فتتحول إلى ذرات عادية ، مما يترتب عليه انتفاخ قلب النجم مرة أخرى إلى غازات كالتى نعرفها ، ولكن للأسف على النجم ليفعل ذلك أن يبحث له عن مصدر خارجى للطاقة ، وكما عبر عنه إيدنجتون ، يحتاج النجم لطاقة لكى يبرد! وحيث لا يوجد مثل ذلك المصدر الخارجي ، فإن هذه العملية لن تتم ، ويجد النجم نفسه ، على حد تعبير إدنجتون ، فى حالة لا يحسد عليها ، واقعًا تحت ضغط جاذبيته الشخصية التى تعمل على تحطيمه .

وقد بين رالف فاولر Ralph Fowler من جامعة كمبردج عام ١٩٢٦ كيف يتصرف النجم المحتضر خلال هذا المأزق ، لقد حسب أنه طبقا للنظرية الكمية سوف يظل قلب

النجم فى حالته العالية من الكثافة ، غائصة نوياته فى بحر من الإلكترونات ، وأن التصادم بين الإلكترونات والنويات ، والنويات بعضها بالبعض ، ينتج ضغطًا كافيًا - عندما ينكمش النجم إلى حجم معين ، لمقاومة الجاذبية الساحقة له ، ويعتمد الحجم الذى يتوازن عنده النجم على كتلة مادته ، وقد حسب فاولر هذا الحجم فوجده قريبًا بالفعل من حجم الأقزام البيضاء مثل قرين الشعرى . وقد وصفت نظرية الكم حالة هذه النجوم وصفًا طيبًا: فبلغة الفيزياء الحديثة ، يطلق على المادة تحت هذه الظروف المتطرفة "مادة متردية degenerate matter وتكون متماسكة بفعل "ضغط التردى de-generate pressure ، أو الإلكترونات فى أدنى مستويات طاقتها ، على صورة "غاز إلكترونى منحل" ، على أنه قبل أن ينقضى العقد من الزمان ، أدرك قليل من علماء الفيزياء الفلكية أنه حين تؤخذ تأثيرات النظرية النسبية الخاصة فى الاعتبار ، بالإضافة إلى تأثيرات ميكانيكا الكم ، فإنه حتى الغاز الإلكترونى المنحل لن يكون قادراً بصفة مطلقة على دعم النجوم المكتنزة أمام ضغط الجاذبية الساحق للنجم .

حدود الأقزام البيضاء :

يُطلق الفيزيائيون على مجموعة القواعد التى تصف خواص شيء كالغاز أو البلازما "معادلة الحالة equation of state ، هذه المعادلة تمكننا من حساب ما يجرى على الغاز من تغيُّر إزاء تغير الظروف المحيطة به ، كنقص حجمه مع زيادة الضغط أو نقص درجة الحرارة ، وتعتمد كثافة المادة فى قلب النجم على كمية المادة التى يحتويها ، وكلما زادت هذه الكمية تزداد قوة التجاذب فيما بينها ، فتزداد الجاذبية الداخلية التى تعمل على سحقه ، وتعطيك معادلة الحالة مقدار الكثافة عند كمية معينة من المادة ، تحت الظروف التى يكون فيها قلب النجم ، وفى ١٩٢٩ استنبط إدموند ستونر Edmond Stoner من جامعة ليدز معادلة للحالة تبين أن الكثافة القصوى التى يمكن للقزم الأبيض أن يتحملها هى عشرة أضعاف ما هو معروف له بالفعل ، ومن ثم لم يكن هناك تفكير فى مصير مثل هذا النجم . ولكن فلهلم أندرسون Wilhelm Anderson من جامعة تارتو Tartu باستونيا بيَّن أن الإلكترونات المتصادمة تحت هذه الظروف تقترب سرعتها من سرعة الضوء ، فتزداد كتلتها طبقًا للنظرية النسبية بقدر كبير ، وبأخذ هذا التأثير فى الحسبان فإن الكثافة القصوى التى يتحملها النجم أقل مما قاله ستونر بكثير . حفز هذا الرأى ستونر على الانكباب على بحث الموضوع حتى خرج

بمعادلة ستونر-أندرسون التى بينت أن الكتلة الحرجة تبلغ مرة ونصف فقط كتلة الشمس ، ولكن ستونر اكتفى بالتعليق بالقول بأن كتلة قرين الشعرى أقل من ذلك ، فلا خطر عليه من الانسحاق ، دون أن يبحث احتمال ما يحدث للنجوم إذا زادت كتلتها عن القيمة القصوى التى بينتها معادلته .

والواقع أن الكتلة التى انتهى إليها ستونر تقريبية ، فهو لم يضمنها كافة التأثيرات الفيزيوفلكية ، فهو مثلاً قد عامل النجم كما لو كانت كثافته ثابتة فى كل أجزائه ، دون الأخذ فى الاعتبار زيادة الكثافة فى قلبه ، وكان الذى أخذ هذا التفصيل فى الاعتبار ، وخرج بحد تماسك القزم الأبيض عند ١,٤ من كتلة الشمس ، هو شاب هندى شهير ، وقد قام ببحثه غير عالم بالمرة عن أعمال ستونر أو أندرسون ، ليقطع الوقت خلال رحلته بالباخرة من الهند إلى لندن ليعمل كباحث فى كمبردج ، وقد كان فى التاسعة عشرة من العمر وقتها .

ولد سبرامانيان تشاندراسيخار Subrahmanyan Chandrasekhar فى التاسع عشر من أكتوبر عام ١٩١٠ ، وهو يعد ثانى اثنين كأعظم علماء الفلك فى القرن العشرين ، أما الآخر فهو سير إدنجتون العظيم . وقد حاز على جائزة نوبل عام ١٩٨٤ ، وورد فى تقرير الجائزة- بالإضافة إلى إنجازات أخرى بطبيعة الحال - إشارة لعمله على تلك الباخرة فى ذلك اليوم من يوليو عام ١٩٣٠ ، منذ أكثر من نصف قرن مضى ، ومن سخرية القدر أن بحثه هذا تسبب فى خلاف بينه وبين سير إدنجتون ، الذى رفض الاقتناع به ، مما تسبب فى دخول البحث طى النسيان لعشرة أعوام تقريبًا ، ويبدو ذلك غاية فى الغرابة ، حيث كان سير إدنجتون هو المرشح الوحيد لفهم هذا البحث ، بما له من تمكن فى الفلك والنظرية النسبية معًا ، ولكن عند استدعاء الماضى نرى أن تشاندراسيخار قد وصل إلى لندن وقد تجاوز إدنجتون عامه السابع والأربعين ، فأضحى ضحية التمسك بالتقاليد أكثر منه عالمًا متفتح الذهن يقبل أفكارًا جديدة [١] .

ويتضح من مقابلة مع تشاندراسيخار عام ١٩٧٧ أنه انكب على دراسة النظرية الكمية من مصادر خارجية عما كان متاحًا فى كليته بالهند ، حتى غدا أكثر من

(١) تجدر الإشارة إلى أن هذه الواقعة لم تترك حزازة فى نفس تشاندراسيخار على الإطلاق ، والذى كان إدنجتون بالنسبة له وهو فى تلك الفترة المبكرة من عمره ، بطلاً مثاليًا ، وقد أشاد بذكراه فيما بعد بكلمات تفيض بالرقة .

أساتذتها علمًا بها عند تخرجه عام ١٩٣٠ . بل قد كتب بحثين وهو لمَّا يتخرج بعد ، كسب بهما منحته الدراسية .

وفى كمبردج كان تشاندراسيخار يعمل بصفة رسمية تحت إشراف فاولر لنيل رسالة الدكتوراه ، ولم يحظ بحثه عن حد الأقزام البيضاء لدى فاولر بأحسن مما حظى به لدى إدنجتون ، على أن البحث نشر على أية حال عام ١٩٣١ فى مجلة العلوم الفيزيوفلكية التى رأس تحريرها فيما بعد .

ولك أن تلمس أهمية موضوع وجود حد أقصى لكتلة القزم الأبيض من كون العالم السوفيتى ليف لنداو Lev Landau قد قام ببحث مماثل عام ١٩٣٢ ، ووصل لنفس نتيجة تشاندراسيخار ، على أنه ، لكونه غير متخصص فى الفيزياء الفلكية ، قد ارتكب غلطة مضحكة ، حين اعتبر أنه إذا كانت النظرية الكمية لا تسمح باستقرار النجوم التى تزيد عن ذلك ، فإن هذا يعنى أن تلك النجوم فيها ما يجعلها لا تخضع لتلك النظرية! لقد كانت النظرية الكمية فى مطلع حياتها ، وبالتالى لم يقدرها لنداو حق قدرها .

ولكن تشاندراسيخار كان منكبًا على ملء الفجوات فى حساباته ، وأتم رسالة الدكتوراه فى ١٩٣٣ ، بالكاد وقد تخطى الثالثة والعشرين ، وانتخب فى العام التالى زميلاً فى كلية ترنتي ، وبما حصَّله من ثقة فى النفس أتم نظريته عن الأقزام البيضاء فى نفس العام ، وقدمها للجمعية الملكية الفلكية عام ١٩٣٥ ، وبعد إلقاء بحثه مباشرة نهض إدنجتون ليعلن بأن نظرية تشاندراسيخار محض هراء ، ولكن لم يُؤسس رأيه على أى سند علمي ، بل على مجرد الإحساس الشخصى بالمواضع التى يمكن فيها تطبيق قوانين الفيزياء والتى لا تطبق فيها . على أن كلمته للجمعية ألمحت من بعيد إلى إمكانية تكون الثقوب السوداء ، ولو انتهى عند هذا الحد لنسب إليه فضل السبق فى القول بها ، إنه فى الواقع لم يشر إليها إلا تعريضًا بنظرية تشاندراسيخار ، ولذا فقد مضى يحاول نقضها ، بافتراض أن النجم الذى يزيد عن ذلك سوف يجد طريقة ما ليبث الكتلة الزائدة فى الفضاء ، بل إن تشاندراسيخار نفسه لم يهمل هذا الاحتمال ، وظل يتردد فى ثنايا العلم إلى الستينات (خلال مرحلة دراستى الجامعية) ، ولكنه لم يكن أبدًا بالاحتمال المقنع .

وتطلَّبت نظرية تشاندراسيخار مزيداً من الوقت لتلقى القبول العام ، وإن كان الحد الذى قال به وجد طريقه فى المراجع بدءًا من ١٩٣٦ ، ويرجع تشاندراسيخار فى عام ١٩٧٧ بالذاكرة ، قائلا إنه من العجب أن ظل متماسكا خلال هذه الفترة التى كان فيها فى العشرينات من عمره ، يواجه عملاقًا من أساطين العلم آنذاك . ولكنه بالفعل قد انهار جزئيًا ، فترك ترنتى إلى جامعة شيكاغو بالولايات المتحدة ، ويقول عن ذلك: "لقد بلغ بى الملل أقصاه لطول الجدل حول القضية ، وإصرارى على رأى يقول الجميع بخطئه ، وأخيرا ، فى عام ١٩٣٨ ، قررت طرح الأمر فى كتاب ثم نسيانه ."

وكان الكتاب "مقدمة فى دراسة التركيب النجمى Introduction to the Study of Stellar Construction ، ونشر عام ١٩٣٩ ، وهو لا يزال مرجعًا دراسيًا إلى يومنا هذا . وظل هذا منهجه طوال حياته العلمية ، ينكب على موضوع ما لعدة سنوات ، حتى إذا قضى منه وطره طرحه فى كتاب جامع ، ثم التفت إلى غيره . وعلى هذا الأساس تنقل من دراسة ديناميكية التركيب النجمى إلى الأجواء النجمية إلى تطبيق النسبية العامة على الفيزياء الفلكية فى الستينات ثم رياضيات الثقوب السوداء فى السبعينات والثمانينات .

وهكذا تُركت قصة الأقزام البيضاء لأيدى غيره منذ منتصف الثلاثينات ، فقد اتضح أن حد الأقزام البيضاء ليس نهاية قصة النجوم المتردية ، فهناك فى الواقع محطة أخرى فى طريق احتضار النجوم ، يمكن لنجم أن يستقر عندها دون خشية فناء كامل ، عبر عنها إدنجتون بقوله ، ولكن متهكمًا: "يظل النجم يشع ويشع ، وينكمش وينكمش ، حتى تقبض الجاذبية على كل الإشعاع" .

المصير النهائى للمادة :

لم يكن أحد يعلم حين قام تشاندراسيخار بحساباته فى مطلع الثلاثينيات بوجود جسيم دون ذرى يسمى النيوترون . لم يكن معروفًا من بنية الذرة سوى الإلكترون ، والذى يحمل الشحنة السالبة ، والبروتون الذى يحمل شحنة موجبة بنفس القيمة ، وإن كان أثقل من الإلكترون بقدر كبير ، كانت الإشارة وقتها إلى الإلكترونات والنواة ، لأنه ما من أحد كان يعلم التكوين الداخلى للنواة ، وتغير الموقف فى عام ١٩٣٢ ، حين اكتشف جيمس شادويك James Chadwick ، من معمل كافنديش ، وجود النيوترون ، جسيم له نفس كتلة البروتون ، ولكنه لا يحمل أية شحنة ، وبذا فهو أول ما اكتشف من

الجسيمات المتعادلة ، وحمَّس هذا الكشف شهية البحث لدى الفيزيائيين الفلكيين عن بحث حد لاستقرار نجم مكون كلية من النيوترونات ، على غرار ما فعل تشاندراسيخار بالنسبة للأقزام البيضاء .

لعل أول من تنبأ بذلك هو ليف لنداو ، ففي بحثه السابق الإشارة إليه وضع احتمال استقرار نجم عند حد أعلى من الحد الذى وصل إليه "بطريقة ما ، على الرغم من النظرية الكمية" على حد قوله . كان لنداو فى زيارة لنيلز بور Niels Bohr فى كوبنهاجن حين وصلت أنباء اكتشاف النيوترون ، وتساءل وقتها عن احتمال وجود نجم مكون من نيوترونات خالصة ، ولكنه حين عاد للاتحاد السوفيتى لم ينشر شيئا عن الموضوع حتى ١٩٣٨ ، فى خلال هذه الفترة وصلت أنباء افتراضه إلى الكثيرين ، منهم جورج جاموف ، العالم الأكرانى الذى فر من نظام ستالين إلى الولايات المتحدة .

وكان افتراض أن توجد نجوم قلبها من النيوترونات الخالصة جذابًا لعلماء الفيزياء الفلكية آنذاك ، حيث لم يكن أحد وقتها يعلم كيف تحتفظ النجوم بحرارتها فى داخلها ، وكانت الفكرة المحببة هى تعليل ذلك بالاندماج النووى على غرار ذلك الذى حافظ على الشمس مشعة لبلايين السنين . ولكن لما لم يكن أحد يعلم كيف يحدث ذلك على وجه الدقة ، فقد ظل الباب مفتوحًا لاحتمالات أخرى . وتقوم فكرة القلب النيوترونى على أساس أن هذا القلب ينمو تدريجيًا وببطء مع انهيار المادة النجمية إلى نيوترونات ، وينتج عن الانكماش المتواصل للجزء الخارجي من النجم إطلاق الطاقة الجذبية على شكل حرارة . يقول لنداو إنه لإنتاج الطاقة التى أشعتها الشمس على مدى بلايين السنين بهذه الطريقة من الانهيار النجمي ، فإنها تحتاج فقط إلى واحد بالمائة من كتلتها .

بل وجد افتراض عن كيفية حدوث مثل ذلك الانهيار ؛ لقد وجد العلماء بعد الكشف عن النيوترون بقليل أنه لا يمكنه الاستقرار منفرداً ، إذ سرعان ما ينحل إلى إلكترون ونيوترون – تسمى هذه العملية "انحلال بيتا beta decay – كما أن العملية العكسية ممكنة أيضا ، أن يخترق إلكترون مسرع بروتونًا فيتحد معه فيتحول إلى نيوترون – وتسمى هذه العملية انحلال بيتا العكسى – وجد العلماء مثل جاموف ولنداو وغيرهما أنه أمر طبيعى أن تندمج البروتونات مع الإلكترونات ، تحت ظروف الضغط والحرارة الهائلين بقلب النجوم ، ليتحول قلب النجم إلى كرة هائلة مكونة من نيوترونات .

على أن البساط قد سُحب من تحت أقدام هذا الافتراض ، ففى نهاية الثلاثينات أجريت حسابات الاندماج النووى للهيدروجين متحولاً إلى هيليوم ، ونجحت تماماً فى تفسير إشعاع الشمس دون تكون قلب نيوترونى ، ثم دق آخر مسمار فى نعش فكرة لنداو بواسطة جاموف وأحد زملائه ، م . شونبرج M. Schnberg حين بيَّنا عام ١٩٤١ أن عملية التحول النيوترونى لو قدر لها أن تحدث فسوف تكون عملية مدمرة تماماً ، ينهار فيها النجم على ذلك القلب النيوترونى لينفجر بقوة فظيعة ، مطلقاً قدراً هائلاً من الطاقة .

وكانت أنباء سعيدة لشخص آخر ، تنبأ بحدوث هذه الانفجارات قبل سبع سنوات ، وأن النجوم النيوترونية تتكون خلالها ، وتسمى هذه الانفجارات "المستعر الأعظم supernova . ورغم ذلك فقد قدر أن يمضى ثلاثون عاماً قبل أن يتحول بقية علماء الفيزياء الفلكية إلى هذا الاتجاه من التفكير .

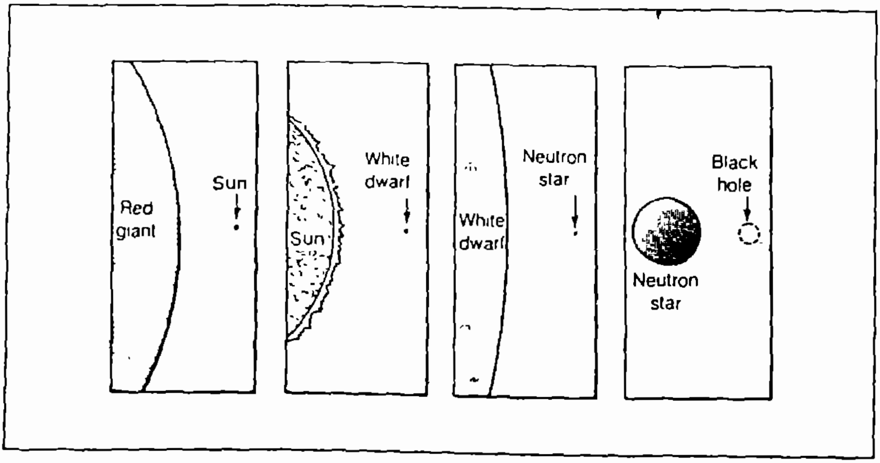
وكان هذا الذى حاز سبقاً طويلاً على رفقائه هو العالم السويسرى فرتز تزفكى Fritz Zwicky ، الذى ولد فى بلغاريا عام ١٨٩٨ وتوفى عام ١٩٧٤ ، وبذلك قدر له أن يعيش إلى أن يرى فكرته عن السوبرنوفا تحظى بالقبول ، ولو بعد ثلاثين عاماً من الانتظار .

وتعتبر انفجارات السوبرنوفا أقوى ما يحدث فى الكون من انفجارات ، وهى نادرة الحدوث ، ولكنها حين تحدث تعطى إضاءة تعادل مجرة كاملة فى فترة وجيزة . وقد ذكر فى بحث قدمه مشاركة مع الفلكى الألمانى المولد فالتر بادى Walter Baade عام ١٩٣٤ أن مثل هذا الانفجار الفجائى لابد وأنه يتضمن تحويلاً لجزء من مادة النجم إلى طاقة ، تطبيقاً لنظرية آينشتين فى تحول المادة إلى طاقة ، وفى بحث ثان لهما فى نفس العام ، كان منصباً أساساً على الأشعة الكونية التى تنهمر على الأرض من أجواء الفضاء ، قالا إن مصدرها انفجارات السوبرنوفا ، وفى نهاية البحث طرحت فكرة لتزفكى تقول:

> مع تحفظنا الكامل نطرح فكرة أن انفجار السوبرنوفا تتضمن تحول النجم إلى نجم نيوتروني ، يتكون بصفة مطلقة من النيوترونات ، مثل هذا النجم قد يكون له قطر غاية فى الصغر ، ولكن كثافته تكون غاية فى الكبر . . .

وعلى هذا الأساس يمثل النجم النيوتروني أقصى صورة لاستقرار المادة على هذا النحو .

مثل هذا الافتراض ، والذى طرح بعد عامين فقط من اكتشاف النيوترون ، يبدو سبّاقًا بقدر قد لا يتصور فى التسعينات . ففى عام ١٩٣٤ لم يكن العلماء قد قبلوا حتى فكرة الأقزام البيضاء كلية ، والتى يفترض أن قطرها يبلغ جزءا من مائة جزء من قطر الشمس ، فى حين يفترض أن قطر النجم النيوترونى يبلغ جزءا من سبعمائة جزء من قطر القزم الأبيض! مثل هذا النجم يحتوى على كتلة تساوى كتلة الشمس ، ولكنها مكدسة فى كرة قطرها لا يزيد عن عشرة كيلومترات . إن قطر القزم الأبيض أكبر بألفى ضعف عن قطر شفارتزشلد بالنسبة لمادته ، أبعد ما يكون عن مصير ثقب أسود ، ولكن النجم النيوترونى لا يبعد عن هذا المصير إلا بثلاثة أضعاف فقط (شكل ٣ - ١) . وهكذا يجلس النجم النيوترونى على حافة التحول لثقب أسود . وعلى ذلك فلو قبلت فكرة وجود نجم نيوتروني ، فعليك بالتبعية تقبل فكرة وجود ثقب أسود .



(شكل ٣-١) الأحجام النسبية للنجوم ، بالنسبة للأقطار يبلغ العملاق الأحمر ٢٠٠ مرة ضعف قطر الشمس ، ويبلغ قطر الشمس ١٠٠ ضعف القزم الأبيض ،

والقزم الأبيض ٧٠٠ ضعف قطر النجم النيوتروني ، والنجم النيوترونى ثلاثة أضعاف الثقب الأسود فقط (قطر الأرض فى حدود قطر القزم الأبيض) ، ولهذا السبب عندما اكتشفت النجوم النيوترونية ، اقتنع الكثير من العلماء بوجود الثقب الأسود .

ليس من عجب أن يتحاشى الفلكيون هذا التصور ، مفضلين أن يعتقدوا ، وإلى فترة كبيرة من الستينات ، أنه حتى انفجار كالسوبرنوفا فى قوته لن يخلف وراءه شيئًا خلاف الأقزام البيضاء ، فقبل أى شيء لم يكن أحد قد شاهد نجمًا نيوترونيًا بعد ، ثم ، أليس انفجار السوبرنوفا هو مجرد وسيلة للتخلص من المادة الزائدة ، لكى يظل النجم تحت حد تشاندراسيخار ؟ كان طبيعيًا أن يكون هذا هو منهج التفكير إلى نهاية الثلاثينات ، ولكن قبل أن تدخل دراسات انهيار النجوم البيات الشتوى لربع قرن ، كانت هناك صحوة أخيرة ، ففى ضوء افتراض لنداو بأن كل نجم يحتوى داخله على قلب نيوتروني ، قام فريق من الباحثين الأمريكيين ببحث سؤال عما إذا كان مثل هذا القلب ، أو حتى النجم النيوتروني ، يتمتع بالفعل بحالة استقرار ، وهل له حد لذلك ، يماثل حد الأقزام البيضاء الذى حدده تشاندراسيخار ، كانت الإجابة على كلا السؤالين أن "نعم" .

داخل النجم النيوترونى :

يُعرف روبرت أوبنهايمر Robert Openheimer – وهو الذى وجد الإجابة على السؤالين – بمساهمته فى مشروع مانهاتن لصناعة القنبلة الذرية التى استخدمت فى الحرب العالمية الثانية ، حيث كان مديرًا لمعمل لوس ألاموس فى صحراء نيومكسكو فيما بين ١٩٤٣ و١٩٤٥ ، والذى فيه تمت صناعة القنبلة ، ولكنه كان قد حقق شهرته قبل مساهمته فى هذا المشروع المرعب .

ولد أوبنهايمر فى نيويورك عام ١٩٠٤ ، ويعرف بالجد والحكمة منذ صباه ، دائمًا فى مقدمة صفه ، وقد التحق بهارفارد فى سن الثامنة عشرة ، مكملا منهجا لأربع سنوات فى ثلاث ، ثم انتقل إلى أوربا ليدرس الفيزياء الكمية فى كمبردج أولا ثم فى جوتنجن ، ولينال الدكتوراه فى عام ١٩٢٧ ، وعند عودته إلى بلاده عين عام ١٩٢٩ كمدرس فى كل من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا وجامعة كاليفورنيا ، ثم صعد لدرجة أستاذ مساعد عام ١٩٣١ ، ثم أستاذ فى ١٩٣٦ .

ولكنه ، مع معرفته أكثر من أى شخص فى الشاطئ الغربى بالنظرية الكمية ، كان مدرسًا غير موفق ، تجرى المعلومات على لسانه تمتمة بسرعة البرق ، لا يكف خلالها عن التدخين ، وتلاميذه يراقبونه فى غير فهم وهو يخط المعادلات على السبورة بيد ، بينما تمسك الأخرى بالسيجارة ، وتقول القصة إنه لم يكن من المستبعد أن يخلط بين السيجارة وإصبع الطباشير أثناء التدخين أو الكتابة ، لعله لم يفعل ذلك حقًا ، ولكن الذى فعله حقيقة هو أنه سمع من تلاميذه نقدهم لمساوئ طريقته بصدر رحب ، فعدل منها إلى أن أصبح أفضل معلم للفيزياء فى الثلاثينات .

واتسعت اهتماماته لتشمل قطاعًا عريضًا من التطورات الحديثة فى الفيزياء ، فكان طبيعيًا أن تكون منها قضية القلوب النيوترونية ، وأن يعين مساعدًا له فى دراسة الموضوع معه .

كان جاموف قد كتب فى الموضوع عام ١٩٣٧ ، كما ظهرت آراء لنداو عن الأمر فى ١٩٣٨ . إن أمل لنداو فى أن يكون انهيار النجم على قلبه النيوترونى من شأنه أن يطلق طاقة تجعل النجم يضيء لمدة طويلة يتطلب بطبيعة الحال أن يكون القلب ذاته قادرًا على تحمل ضغط الجاذبية ، وقد قدر لنداو نفسه أن القلب لكى يكون مستقرا يجب أن تكون كتلته أقل من ٥٪ من كتلة الشمس ، ولكن حساباته كانت مغالية فى التبسيط . لقد كانت ، من بين أشياء أخر ، غافلة عن تأثيرات النيوترونات حين تصل إلى ضغط يجعلها تتصرف كغاز متردى يخضع لتأثيرات النظرية النسبية ، وقد اكتشف أوبنهايمر ومساعده روبرت سربر Robert Serber خطأ فى حسابات لنداو ، والتى حين أعيدت بدقة أكثر أدت إلى كتلة حوالى ٣٠٪ من كتلة الشمس ، على أن هذا التعامل السريع مع بحث لنداو لم يأخذ فى الاعتبار انحلال النيوترون . وحين بحث أوبنهايمر المسألة من هذه الوجهة ، والتى أخذت أيضًا فى الحسبان التأثيرات النسبية من حيث تشوه الزمكان بسبب الجاذبية الناتجة عن الكثافة الزائدة فى قلب النجم ، استنبط فى بحث نشر عام ١٩٣٩ مع مساعده جورج فولكوف Gorge Volkoff أن النجوم والقلوب النيوترونية يمكن أن توجد فقط لو أن لها كتلاً تتراوح بين ١٠٪ و٧٠٪ من كتلة الشمس ، بما يقابل كثافة تتراوح بين مائة ألف بليون جرام لكل سنتيمتر مكعب إلى عشرة ملايين بليون جرام لكل سنتيمتر مكعب . ولكتل أكبر من حد أوبنهايمر – فولكوف ليس من طريقة لتماسكها حتى مع أخذ تحلل النيوترونات وتأثيرات النسبية ، وقد كتبا "سوف يستمر النجم فى تهاويه ولن يصل للتوازن على الإطلاق ."

وكما فعل إدنجتون من قبل ، لم يجد أوبنهايمر هذ التصور جذاباً ، واستمر فى ورقته البحثية مع مساعده قائلا : "يطمع المرء أن يوجد حل يجعل معدل الانكماش بطيئا بحيث ينظر إلى هذا الحل ليس كحل للتوازن ، بل لحالة شبه استاتيكية" بمعنى أن أوبنهايمر قد رأى المعضلة للانهيار الجذبى النهائى تحل عن طريق تشوه فى الزمكان يبطئ فيه الزمن بحيث تبدو العملية لمراقب من الخارج كما لو كانت مستمرة للأبد ، فإذا كانت عملية انهيار النجم إلى نقطة ذات كثافة لانهائية سوف تستغرق زمناً لانهائياً ، فليس لنا أن نهتم حول إمكانية اكتشاف مثل هذا الانهيار فى الكون الواقعي .

وبصرف النظر عن بعض التعديلات الطفيفة لا يزال حل أوبنهايمر وفولكوف سارياً منذ عام ١٩٣٩ . وأفضل تقدير اليوم هو أن النجم النيوترونى لكى يظل موجوداً يجب أن تزيد كتلته عن ١٠٪ من كتلة الشمس (١) ، وبالتأكيد لا تزيد عن ثلاثة أمثال كتلتها . ومن ناحية القطر يعنى ذلك قطرا يترواح بين ٩ و١٦٠ كيلومترا (لا يوجد نجم نيوترونى يزيد قطره عن مائة كيلومتر) .

ويوجد تعديل أخير فى المعادلة التى لم ينته البحث فيها بعد ، فالموضوع لا يزال مستمراً ، إن النيوترونات قد بدا أنها تتكون فى حد ذاتها من جسيمات أصغر ، تسمى الكواركات (٢) ، ويطرح هذا احتمال أن تكون هذه الجسيمات سابحة فى قلب النجم النيوترونى مكونة "حساء من الكواركات" ، ولكن هذا الاحتمال لن يؤثر على النتيجة ، فتظل القاعدة سارية ألا يستقر نجم نيوترونى يزيد فى الكتلة عن ثلاثة أمثال الشمس .

فيما وراء النجم النيوترونى :

على عكس إدنجتون ولنداو ، لم يكن أوبنهايمر مستعداً لترك النجم النيوترونى تحت رحمة قوانين مجهولة أو لقوى جديدة تجعله متوازناً فوق الحد الذى توصل إليه ، وحين وجد أن المعادلات لا تعطى فرصة لتحاشى الانهيار الكامل ، تقبَّل النتيجة . وفى يوليو من عام ١٩٣٩ قام مع مساعد آخر ، عبقرى فى الرياضيات يدعى هرتلاند

(١) يمكن لنجم أقل من هذه الكتلة أن يتكدس إلى نجم نيوترونى نتيجة الانفجار ، ولكنه لن يكون به ضغط يمنع النيوترونات من أن تعود للانحلال إلى بروتونات وإلكترونات ليتحول إلى قزم أبيض .

(٢) والبروتونات أيضا-المترجم

سنيدر Hartland Snyder بتقديم بحث خاض فيه فيما وراء النجم النيوتروني المستقر ، ونظر في الطريقة التي تقوم فيها الجاذبية بتشويه الزمكان حول النجم المنهار ، مستعيناً بحل شفارتزشلد ومعادلات آينشتاين . يعتبر هذا البحث أول بحث حديث عن الثقوب السوداء ، وآخر بحث في الموضوع لعقدين تاليين ، ولكنه كان "يأخذ بالأنفاس" كما وصفه فرنر إسرائيل Werner Israel في كتابه "ثلاثمائة عام مع الجاذبية 300 years of Gravitation . فهو يستخدم مصطلحات سوف تصاحبنا في كتابنا هذا ، وبلغة هي بالضبط ما يستخدمها علماء النسبية اليوم ، ولا يوجد لليوم وصف واضح موجز يعبر عن فهمنا للمصير النهائي للنجوم الضخمة مثل ما قدمه أوبنهايمر وسنيدر في بحثهما:

> حين تستنفد كل الطاقة الحرارية-النووية ، فإن النجم إذا كانت كتلته كافية فسوف ينهار تماما ، وإذا لم يتسبب انشطار نتيجة الدوران ، أو إشعاع للمادة ، في تقليل الكتلة إلى كتلة قريبة من الشمس ، فإن الانكماش سوف يستمر إلى مالانهاية . . .سوف يصل قطر النجم بطريقة تقاربية asymptotically إلى قطر الجاذبية ، وينزاح الضوء إلى اللون الأحمر باطراد ، وسوف يتم ذلك أمام عين مراقب مصاحب للانهيار في غضون يوم .

توجد ثلاثة مفاهيم في هذه العبارة ، أن الانهيار سيبدو لمراقب خارج عملية الانهيار كما لو كان مستمراً إلى مالانهاية ، وهو مغزى مصطلح "طريقة تقاربية" ، وأن الضوء سوف يميل للون الأحمر ، وهو في الواقع تنبؤ النظرية النسبية العامة ، فعند مط الزمن يمط الطول الموجي للإشعاع الصادر من النجم ، فيميل لونه للأحمر ، والذي هو أطول موجات الضوء ، تُسمى هذه العملية "الانزياح الأحمر الجذبي gravitational red shift ، ولا تظهر إلا إذا كان الضوء آتياً من نجم ذي قوة جذبية عالية . والواقع أن هذا التأثير قد لوحظ في قرين الشعرى اليمانية والأقزام البيضاء الأخرى ، وهو الدليل على أنها بالفعل كبيرة الكتلة .

هذا الانزياح الأحمر يختلف عن مثيله الآتي من المجرات ، والذي ينتج بسبب تمدد الكون ، ففي الوقت الذي ينقضي لتصل الموجات الضوئية لنا ، يتمدد فضاء

الكون نفسه فتطول معه الموجات . فهذا "الانزياح الأحمر الكونى cosimological red shift والشاهد على تمدد الكون ، وعلى نشأته نتيجة الانفجار العظيم ، منذ عدة آلاف بلايين من السنين مضت ، ولأن الانزياح يتناسب مع بُعد المجرات ، فقد أمد ذلك الفلكيين بوسيلة مباشرة لقياس بعد المجرات ، ولكنه انزياح لا علاقة له بالانزياح المتسبب عن الجاذبية .

ويمكن التفكير فى الانزياح الأحمر عن طريق الطاقة ، فالضوء الأزرق يحمل طاقة أعلى مما يحمله الضوء الأحمر ، ويعتبر الانزياح الأحمر من هذه الزاوية دليلاً فقط على طاقة الضوء وهو يغالب الجاذبية للفرار منها ، وفى حالة نجوم كتلتها عالية للغاية ، ومكدسة بدرجة كبيرة ، يمكن للإزاحة أن تتخطى مدى اللون الأحمر لتصل إلى مدى الموجات تحت الحمراء ، أو حتى الموجات الراديوية . هذا ما عناه أوبنهايمر وزميله بقولهم "باطراد" ، وسوف تأتى نقطة ، مع استمرار انكماش النجم المتهاوى تكون فيها قوة الجاذبية عند السطح من الكبر بحيث يفقد الضوء طاقته الكلية قبل أن يستطيع الفرار ، سيكون الانزياح قد وصل إلى مالانهاية ، ولن يكون هناك موجات بالمرة ، ويكون النجم قد تحول إلى ثقب أسود ، يحدث ذلك عندما تصل سرعة الهروب إلى سرعة الضوء .

النقطة الثالثة التى تستدعى كثيراً من التدبر هى "المراقب المصاحب للانهيار" ، شخص موجود على سطح النجم فيقع فى قلب الثقب الأسود مع المادة المتهاوية . يقول أوبنهايمر فى بحثه إنه على الرغم من أن العملية تستغرق وقتًا لانهائيًا فى نظر مراقب من الخارج ، فإنه بالنسبة لهذا الشخص تستغرق فقط بضع ساعات ، وعلى الرغم من كون هذه المفارقة صعبة على التصور ، فإنها سوف تكون وسيلتنا الأساسية فى استخدام الثقب الأسود كطريق مختصر عبر الزمن والفضاء .

لم يكن كل ذلك متصوراً فى سبتمبر من عام ١٩٣٩ ، فقبل ذلك بأشهر كانت مسألة حفاظ النجوم على طاقتها الداخلية عن طريق الاندماج النووى قد حلت ، مما أدى إلى استبعاد فرض وجود قلب نيوترونى داخلها ، وفى نفس شهر ظهور بحث أوبنهايمر وسنيدر ، أعلنت بريطانيا وفرنسا الحرب على ألمانيا ، وتحول البحث العلمي ، فى أوربا أولا ثم فى الولايات المتحدة ، إلى قنوات أخرى . تشتت العلماء المشتغلون مع أوبنهايمر ، وتولى هو مهمة تصنيع القنبلة الذرية ، ولذلك فليس من المستغرب أنه

بنهاية الحرب لم يكن أحد مقتنعاً بوجود النجوم النيوترونية سوى تسفكي ، ولم يكن أحد مقتنعا بالمرة بوجود الثقوب السوداء . لقد تناول بعض الرياضيين فكرة الثقوب السوداء ، فى أواخر السبعينات ، ولكن انقضت عشرون سنة قبل أن يفيق العالم على حقيقة وجود النجوم النيوترونية ، وعلى أنه إذا وجد شيء يبلغ كتلة الشمس ثلاث مرات ، فسوف يكون هو الثقب الأسود .

النابضات المحيرة :

على الرغم من أن عودة الاهتمام بالنجوم المتردية كان وليد اكتشاف عارض عام ١٩٦٧ ، فإن هذا الاكتشاف يجد جذوره فى تطور علمي أنجز خلال الحرب العالمية الثانية؛ ألا وهو الرادار . فقبل الحرب لم يكن أمام العلماء سوى مراقبة الكون من خلال الموجات المرئية ، باستخدام التلسكوبات البصرية ، وعلى الرغم من أن حقيقة إمكانية التقاط موجات راديوية من الفضاء ترجع إلى الثلاثينات ، لم يكن هناك وقت لتطور الفلك الراديوى قبل أن تضع الحرب أوزارها . وخلال الحرب كان استقبال الموجات يعاني من تشويش علل بأن مصدره الشمس ، وقد أثار ذلك العلماء العاملين فى مجال الرادار . فما أن انتهت الحرب حتى انهمك البعض منهم ، فى بعض الأحيان مستخدمين نفس معدات الحرب ، فى سبر أغوار الكون باستقبال موجات أطول من موجات الضوء المرئية ، أى فى المدى الذى تقع فيه الموجات الراديوية ، وتحولت هذه النافذة الجديدة على الكون إلى علم الفلك خلال الخمسينات ، فى خطوة من خطوات التقدم فى سبر أغوار الكون تحققت فى السنوات التالية ، منها كما سنرى لاحقًا حمل الآلات الرصدية إلى ما فوق الغلاف الجوى عن طريق الصواريخ والأقمار الصناعية لاستقبال موجات من الكون أقصر من الموجات المرئية .

وتستخدم الصواريخ والأقمار الصناعية لاستقبال الموجات قصيرة الموجة كالأشعة السينية والأشعة فوق البنفسجية وأشعة جاما ، لأن هذه الموجات تُمتص بواسطة الغلاف الجوي ، أما موجات الراديو فيمكنها اختراق ذلك الغلاف أسوة بموجات الضوء . وللفلك اللاسلكى مزايا جمّة يتفوق بها على الفلك البصري ، فاللون الضارب للزرقة الذى نراه للسماء ، والذى يجعل النجوم غير مرئية خلال النهار ، هو فى الواقع أحد ألوان الطيف الشمسى تشتت بفعل ذرات الغبار العالقة فى الهواء ، أما الضوء الأحمر الأطول موجة فلا يتشتت بنفس الدرجة ، وهو ما يجعل الشمس عند الغروب تبدو

حمراء ، هذا النوع من التشتت لا يحدث بالنسبة لموجات الراديو ، ولذا فهى لا تعانى من الزيغ الذى تعانيه أبصارنا أو معداتنا التصويرية فى ضوء النهار . ولهذا السبب فالفلك الراديوى أمامه اليوم بساعاته الأربع والعشرين للعمل .

ولكن الواقع أن للشمس تأثيرا على استقبال الموجات اللاسلكية الآتية من الفضاء ، ولكن العلماء من الحصافة لدرجة استغلال هذا التشويش للحصول على معلومات أوفى عن الأجرام السماوية التى تشع موجات لاسلكية . هناك تيار متدفق على الدوام من مواد متطايرة من سطح الشمس تسمى الرياح الشمسية ، وذرات هذه الرياح ليست متعادلة كهربياً ، حيث تفقد إلكتروناتها عند سطح الشمس ، فالرياح الشمسية هى فى الواقع تيار من البلازما ، وإن كانت خفيفة للغاية بالنسبة لغاز البلازما بداخل النجوم ، هذا التيار من البلازما يجعل الموجات الملتقطة تتأرجح قليلاً فى شدتها ، بالضبط كما تتلألأ النجوم فى السماء بسبب الغلاف الجوى للأرض .

ولكن ضوء النجوم يتأثر بهذه الصورة لكونها صغيرة للغاية ، مجرد نقاط من الضوء ، أما الكواكب ، والتى تبدو كأقراص صغيرة ، فلا تتلألأ ، لأن التأرجح فى الشدة يتوزع على مساحة القرص (طبعا النجوم أكبر بكثير من الكواكب ، ولكنها تبدو كنقاط مضيئة بسبب بعدها الشاسع عن الأرض) . وتنطبق نفس النظرية على مصادر الموجات اللاسلكية الملتقطة من الفضاء حين يتأثر التقاط موجاتها بالرياح الشمسية ، بما يعطى معلومات عن تلك المصادر ، فالمصادر التى تتميز موجاتها بالوميض فى الموجات اللاسلكية تعنى أنها بعيدة أو صغيرة الحجم ، بينما التى لا تعانى من ذلك تعنى أنها قريبة أو كبيرة الحجم .

وبالعكس ، فإن معرفة خواص المصادر يفيد فى معرفة طبيعة الرياح الشمسية من ملاحظة هذا الوميض ، وقد كان هذا هو الشغل الشاغل لمهندس راديو شاب يدعى أنتونى هيويش Antony Hewish ، والذى دأب على مراقبة مصادر الموجات اللاسلكية الوامضة فى مرصد كامبردج اللاسلكى فى الخمسينات ، وكان هيويش قد درس فى كمبردج فى الأربعينات ، وانخرط فى الحرب كمهندس للاسلكي ، ثم عاد بعدها إلى كمبردج ليكمل دراسته ، حيث تخرج عام ١٩٤٨ ، ومن ذلك إلى الأبحاث ، حيث حصل على الدكتوراه عام ١٩٥٢ . وقد استخدم منحة الدولة المقدرة بسبعة آلاف جنيه فى بناء مرصد لاسلكي ، استخدمه فى دراسة المصادر الوامضة والرياح الشمسية على

السواء ، وقد وصف مشروعه بأنه من أنجح المشروعات فى الأبحاث ، حيث عن طريقه تمكنت تلميذته جوسلين بل Jocelyn Bellمن اكتشاف أول نجم وامض pulsar(أو بُلْسار ، بضم الباء وسكون اللام) عام ٧٦٩١ .

ولدت جوسلين بل (بعد الزواج جوسلين بورنل Jocelyn Burnell) فى بلفاست عام ١٩٤٣ ، وتخرجت من جامعة جلاسجو عام ١٩٦٥ ، وخلال العامين التاليين بدأت رسالة الدكتوراه فى كمبردج وعملت فى إنشاء مرصد هيويش الذى يضم هوائيًا لا يماثل كثيرا ما يعرفه الناس اليوم عن الهوائيات اللاسلكية لرصد النجوم؛ أطباق ذات شكل مقعر ، فالتقاط الوميض يحتاج هوائيات من نوع خاص يمكنها الاستجابة للتغيرات اللحظية فى الإشارة الملتقطة ، بالضبط كما تستجيب عينك لتلألؤ النجوم فتتمكن من متابعته "فى الوقت الحقيقى real time إذا أردنا استخدام اللهجة المستخدمة فى علم الحاسوب – على العكس من ذلك استخدام لوح فوتوغرافى لتصوير نجم ، إذ يجمع الضوء على مدى فترة معينة ، أى يحصل على صورة فى "وقت مجمع integrated time» لقد كان هوائى التقاط الوميض أشبه ببستان فاكهة منه لهوائى لاسلكي ، ساحة مليئة بهوائيات متناثرة مترابطة كهربيًا .

وفى عام ١٩٦٧ (نفس عام وصولى إلى كمبردج لنيل رسالة الدكتوراه ، فيما أصبح بعد ذلك معهد الفلك النظري) كان المرصد الجديد قد دخل التشغيل ، يبين مصادر الوميض كما صمم . إن هوائيًا كهذا لا يمكنك إدارته كغيره من الهوائيات لتمسح السماء ، لكنك تترك الأرض فى دورانها تقوم بذلك . وحيث إن الرياح الشمسية تكون أقوى حين تكون الشمس فى كبد السماء ، فإن الوميض يكون أقوى فى هذا الوقت من اليوم ، ولكن فريق العمل تعود أن يترك النظام عاملا طوال الأربع والعشرين ساعة ، فمصاريف تشغيله لا تمثل شيئا بالنسبة لما أنفق فيه ، ولست تعرف أبدًا متى يحدث شيء غير متوقع .

وهذا ما حدث بالضبط يوم السادس من أغسطس عام ١٩٦٧ كانت كل عملية مسح تنتج شريطا من الورق طوله ثلاثون مترا ، مسجلا عليه ثلاثة خطوط بيانية وخلال مسح التلسكوب للسماء يكون كل مصدر "مرئيا" لفترة لا تتجاوز ثلاث أو أربع دقائق ، حين يكون فوق الهوائى مباشرة . كان على الآنسة بل أن تتفحص عدة كيلومترات من الشرائط لترى إذا كانت تحتوى على شيء يلفت النظر ، وخلال عمل

ذلك فى اليوم المذكور لاحظت اهتزازًا طفيفًا فى أحد الخطوط الثلاثة ، لا يزيد على عدة سنتيمترات ، يمثل مصدرًا خافتًا للتشويش فى منتصف الليل ، حين كان الهوائى يشير إلى الجهة المقابلة للشمس! من المستحيل أن يكون هذا وميضًا ، لعله تشويه بفعل خارجي ، فوضعت بل عليه علامة ثم أهملته .

ولكن هذا التشويه ظل يتكرر كل يوم ، ليس على الدوام ولكن غالبًا ، فى نفس الوقت من الليل ، وفى سبتمبر كان لدى بل معلومات تفيد أن هذا التأثير يأتى من نفس الموضع فى السماء ، على دورات ليست ٢٤ ساعة ، بل ٢٣ ساعة ٥٦ دقيقة . كان هذا مؤشرًا غاية فى الأهمية ، لأن النجوم فى السماء تتكرر بالفعل بنفس هذه الدورة ، بسبب دوران الأرض حول الشمس ، وفى الوقت الذى قرر فيه كل من بل وهيويش أنهما قد حصلا على شيء مثير للاهتمام ، وأقاما جهازًا لتسجيل الموجات المستقبلة منه ، اختفى لعدة أسابيع ، ثم عاد فى نوفمبر ليبين أنه بالفعل مصدر لإشعاع نبضات مدتها ١,٣ ثانية .

كان الأمر من الغرابة لدرجة أن هيويش تجاهله ، رغم ثبات مكانه ، كتداخل من فعل بشري ، إذ لم يحدث أن رأى أحد جسمًا فلكيًا يغير من شدته بهذه السرعة ، فأسرع تغير لضوء نجم لوحظ كانت دورة تغيره ثمانى ساعات ، ولكن الملاحظة المستمرة استبعدت فكرة التداخل البشري ، إذ كانت فترة معاودة النبضات ثابتة بقدر مذهل ، بالضبط ١,٣٣٧٣٠١١٣ ثانية ، وتستمر كل نبضة لمدة ٠,٠١٦ ثانية .

تخيل هيويش ورفاقه أنهم قد حققوا اتصالاً مع كائنات من الفضاء الخارجي ، فقاموا والدهشة تعقد ألسنتهم بتسمية المصدر **LGM1** اختصارًا لعبارة : **Little Green Men1** (رجال صغار خضر رقم ١) ، ولم يشأ هيويش إذاعة الخبر إلا بعد المزيد من التمحيص ، وخيرًا فعل .

كنا فى كمبردج قد شعرنا بأن زملاءنا فى أبحاث اللاسلكى بكافنديش قد توصلوا لشيء ما ، ولكن دون أن ندرى حقيقته ، فتركنا الأمر لتقديرهم إلى أن يخبرونا عنه ، ولم أكن عن نفسى مهتمًا بالموضوع ، فقد كنت غارقًا فى المهمة المكلف بها ، كتابة برنامج حاسوبى يبين كيف تتذبذب النجوم . فى نهاية ١٩٦٧ لم أكن قد وجدت فكرة كيف يستفاد بذلك حتى أحصل على درجة الدكتوراه ، وفى نهاية فبراير التالى تغير كل شيء .

قبل عيد الفصح مباشرة لاحظت بل تشويها آخر ، آتيا من مكان آخر فى السماء ، كان بنفس دقة المصدر الأول ، ولكن على فترة زمنية أخرى ؛ ١,٢٧٣٧٩ ، ثم سرعان ما أضيف اثنان آخران ، فترة الأول ١,١٨٨٠ والثانى ٠,٢٥٣٠٧١ . وتصاعد العدد مُبعداً افتراض الرجال الخضر ، بل يجب أن يكون المصدر من فعل الطبيعة ، وعلى الفور أزيلت بطاقة LGM وقرر هيويش إذاعة الخبر ، فى البداية فى جلسة علمية بكمبردج ، حتى يعلم بقية الفلكيين بالأمر ، ثم أتبع ذلك بنشر مقالة عن الموضوع فى مجلة الطبيعة Nature كان تاريخها ٢٤ فبراير ١٩٦٨ ، معنونة "مشاهدة لمصدر راديوى سريع النبض Obserbation of a Rapidly Pulsating Radio Source .

لقد اكتشف الفلكيون اللاسلكيون بالفعل نوعًا جديداً من مصادر الإشعاع اللاسلكي ، ومن الكلمة Pulsating Radio Source أطلق اسم Pulsar عليها . ولكن ، ما ماهية ما اكتشفته الآنسة بل بالضبط ؟

تزفكى كان على حق ، اكتشاف النجوم النيوترونية :

كان اكتشاف النجوم النابضات بداية نشاط محموم من قبل المنظرين ، لقد اكتُشف نوع جديد تمامًا من أجسام السماء ، وسوف يدخل شخص ما التاريخ بالوصول إلى تفسير لهذه الظاهرة ، فالنجوم التى تعطى نبضات معروفة ، بسبب التغير فى عملية إنتاج الطاقة بها ، وتتغير إضاءتها بالتالى ، ربما تكون هذه الظاهرة متاحة للنجوم اللاسلكية المكتنزة .

وقد بين هيويش وبل ورفاقهما ما يمكن أن تكون احتمالات منطقية ، فهذه النبضات يجب أن تكون قادمة من نجم مكتنز ، فليس غيره يمكن أن يعطى الطاقة اللازمة لبث هذه النبضات ، فنجم فى حجم كوكب الأرض يجب أن يكون قزمًا أبيض ، وإن كان أصغر فنجم نيوتروني ، وهو أيضًا احتمال وارد لمثل هذه النبضات السريعة . على أنه يتبقى أمر محير ، فنبض الأقزام الزرقاء سبق أن حسبه المنظرون عام ١٩٦٦ ، وكان زمن الدورة الأساسى لها فى حدود ثمانى ثوان ، أكبر من أن يعلل ظاهرة النجوم النابضات ، كما أن هذه الحسابات للنجوم النيوترونية أعطت زمن دورة أقل من أول نابضات اكتشفت ، فى حدود أجزاء من الألف من الثانية ، وظلت الأقزام البيضاء هى الرهان الأفضل ، لو فقط وجدت طريقة ما تجعلها تدور بسرعة أعلى مما افترضته الحسابات السابقة .

وفى فبراير ١٩٦٨ كان النموذج الحاسوبى للنبض النجمى يعمل على جهازى بصورة جيدة ، وقد تكون مهمة مباشرة تطويعه ليصف نبض الأقزام البيضاء ، والأكثر من ذلك أن الحسابات الأولى لم تأخذ فى الحسبان تأثيرات النسبية العامة ، وهو أمر من شأنه أن يتيح للنجوم أن تدور بسرعة أكبر ، وتتطلب هذه الحسابات أيضًا استخدام الحاسوب . وقد وصلت بالفعل عن طريق تطبيق هذه الأفكار إلى زمن دورة يساوى ثانية ونصف ، على أن المزيد من الحسابات ، مع ضغط قوة حاسوبى إلى أقصى مداه [1] ، ومع مزيد من الاكتشافات للنابضات ، توصلت فى النهاية إلى أنها لا يمكن أن تكون أقزامًا بيضاء .

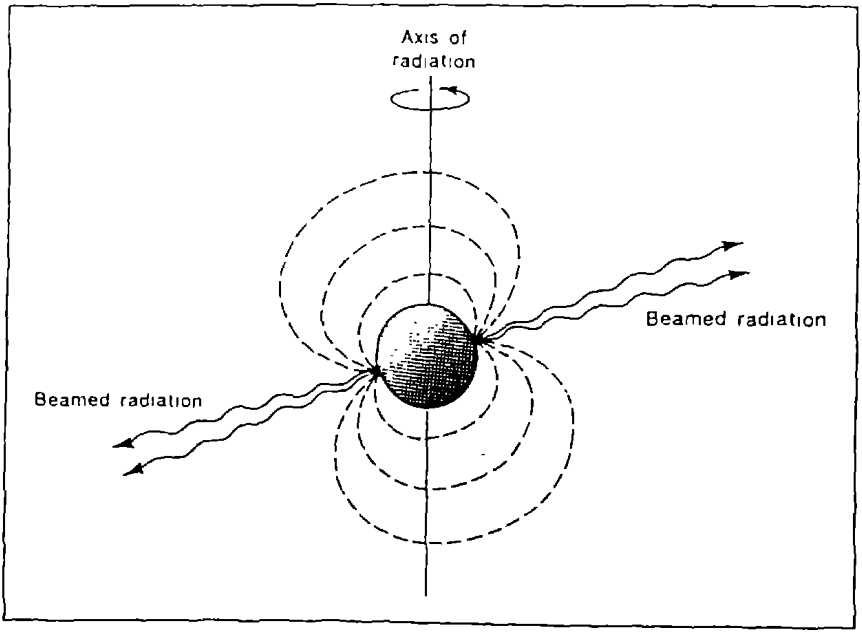
كانت المشكلة هى أن أسرع دورة حصلت عليها ظلت أكبر من النابضات التى تم اكتشافها مؤخرًا ، وكان لاكتشاف إحداها مدلول خاص ، لقد كان ينبض بمعدل ثلاثين مرة فى الثانية ، فى وسط سديم يطلق عليه سديم السرطان .

كان هذا الكشف كافيًا أن يقضى على احتمال الأقزام البيضاء نهائيًا (بل لقد اكتشفت نابضات أسرع نبضًا منذ ذلك الحين) ، على أن الأكثر إثارة كان موقع اكتشافه . فسديم السرطان هو فى الواقع بقايا انفجار مستعر أعظم روقب عام ١٠٥٤ فى الصين . وقد بين والتر باد منذ سنوات خلت بأنه إذا كان زميله تزفكى على حق ، وأن هذه الانفجارات تخلف نجومًا نيوترونية وراءها ، فإن المكان المتوقع لإحداها يكون فى وسط سديم السرطان ، بل لقد حدد نجمًا بالذات متوقعًا أن يكون نجمًا نيوترونيًا . وأكدت الأرصاد اللاسلكية أن هذا النجم ينبض بالفعل ، وبضوء مرئي ، ثلاثين مرة فى الثانية ، وهو أمر لم يكن يتوقعه أحد قبل عدة شهور فقط ، فنجم ينبض بهذه السرعة كان أبعد من تصور أخصب الفلكيين خيالا ، على أنه كان ينبض حقيقة بهذه السرعة ، وبطاقة ضوئية أعلى من الطاقات الراديوية .

وأصبح الكل مقتنعًا بأن النابضات هى نجوم نيوترونية ، كما اتضح أنها حقيقة– على عكس ما يعنيه اسمها– ليست نابضات ، بل دوارات ، تشع فى الفضاء موجات

(١) قمت بهذا الإنجاز على حاسوب من أفضل ما كان معروفًا فى ذلك الوقت ، من المثير أن أقول إن سعة ذاكرته كانت ١٢٨ كيلوبايت ، أقل من ربع الحاسوب الذى أكتب عليه كتابى هذا ، والذى هو بدوره متواضع للغاية بالنسبة لأجهزة اليوم [سعة الذاكرة اليوم تصل إلى ألف ضعف سعة الذاكرة التى أجرى عليها أبحاثه–المترجم] .

لاسلكية ، بل وضوئية أيضًا ، من مكان نشط على سطحها ، تعمل هذه النجوم فى الواقع عمل فنار فلكي ، يجتاح إشعاعه الأرض كل دورة من دورانه (شكل ٣-٢) . لم يعد هناك ما هو أكثر إقناعًا بأن النجوم النابضات هى نجوم نيوترونية تلف حول نفسها بسرعة تجعل نقطة معينة على خط استوائها تدور بسرعة تصل إلى نسبة ملموسة من سرعة الضوء .



(شكل ٣-٢) النجم النابض هو نجم نيوترونى ذو مجال مغناطيسى هائل ، يعطى إشعاعًا من قطبه يدور فى الفضاء مثل الفنار

أتذكر كيف كانت فكرة كون النابضات نجومًا نيوترونية دوَّارة فى السماء مثار سمرنا خلال فترات الراحة فى ربيع عام ١٩٦٨ ، على أن من ينسب له الفضل فى وضع تصور متكامل عن هذه النجوم هو تومى جولد Tomy Gold ، ولكن من جهة

أخرى فإنه قد سبق للعالم فرانكو باكينى Franco Pacini أن بيَّن (بعد اكتشاف جوسلين بل التشويه على أشكالها البيانية) أن نجمًا عاديًا لو قُدِّر له أن ينهار إلى نجم نيوترونى فإن الانهيار سوف يجعله يلف حول نفسه بسرعة عالية فيزداد انكماشًا (كمثل المنزلق على الجليد حين يضم ذراعيه على صدره) ، ويزداد مجاله المغناطيسى شدة ، هذا الجسم ثنائى القطب كما أسماه باكينى سوف يغمر الفضاء بإشعاعه الكهرومغناطيسي ، وهو ما يفسر نشاط ذلك النجم بعد ألف عام من الانفجار الذى راقبه الصينيون . لعله يبدو من عدم العدالة أن يسرق جولد الأضواء من باكينى فى هذا الأمر ، ولكن بحث جولد كان أكثر إيفاء بالموضوع ، حين بين أن دوران النجم النيوترونى حول نفسه يبطئ شيئًا فشيئًا ، وقد أثبت مرصد أريكيبو Arecibo فى بروتو-ريكو بتلسكوب لاسلكى ذى طبق قطره ألف قدم أن نابض السرطان يبطئ بالفعل بمعدل جزء من مليون جزء من الثانية كل شهر ، هكذا كان نموذج جولد هو المعتمد للنجوم النابضات .

وفاز هيويش بجائزة نوبل [١] ، وحصلت جوسلين بل على درجتها للدكتوراه ، كما حصلت على درجتي ، فى جزء منها بإثباتى أن الأقزام البيضاء يستحيل أن تكون هى النجوم النابضات ، إذ لو دارت حول نفسها بهذه السرعة لتمزقت إربا . قد لا يمثل ذلك شيئًا يدعو للإعجاب ، فهو إثبات سلبى ، على أننى حين أستعيد الذكرى أجد أن قيمته تتجاوز ما قدرته آنذاك ، لأننى بما انتهيت إليه جعلت الاحتمال الوحيد فى صالح النجوم النيوترونية ، سواء نابضة حقا أو دوارة . لم أدر وقتها أننى بذلك قد فتحت الباب أمام تقبل فكرة الثقوب السوداء ، وليس من قبيل المصادفة أن تنهض فرق البحث فى مجال الثقوب السوداء فى نفس عام اكتشاف النجوم النابضات ، وعلى مر العقود التى تلت ، لعبت فكرة الثقوب السوداء دورًا حاسمًا فى حل لغز حيَّر الألباب منذ عام ١٩٦٣

(١) عام ١٩٧٤ - المترجم .

الفصل الرابع

وفرة من الثقوب السوداء

ثقوب سوداء تعطى طاقة لأغلب أجرام الكون. نجم يشع موجات سينية يقرع مثل جرس. أول ثقب أسود يتعرف عليه، ثم ملايين تتبع.

مع اطِّراد التطور فى تقنية الرصد اللاسلكى بداية من الخمسينات، تزايد فهم العلماء للكون على رحابته، مزودين بنظرية النسبية العامة، فبوصف الزمكان ككل متكامل أعطت هذه النظرية وصفًا شاملاً للكون كزمكان منحن. كان العلماء إلى مطلع العشرينات يعتقدون أن الكون محصور فى النجوم التى نراها ليلاً، تكون مع مواد أخرى كالغازات بين النجمية فى مجرة درب التبانة، وعلى الرغم من أن النجوم منفردة تولد وتفنى داخل تلك المجرة، إلا أن النظام ككل اعتبر سرمدياً ثابتًا، كغابة تنبت فيها أشجار وتموت أخرى، ولكنها دائمة وثابتة كنظام مستقر، ولذلك فقد كانت دهشة آينشتاين بالغة حين وجد أن معادلته تتناقض مع فكرة الكون الثابت الحجم .

الانزياح الأحمر والنسبية :

كان النموذج الكونى cosmological model المستنبط من النظرية النسبية العامة يفتح الباب أمام وصف كون متغير الحجم، سواء بالتناقص أو بالتزايد، ولكنه لا يقبل بالمرة كونًا ثابتًا، فى غير ذلك تأيدت النظرية النسبية فى كل مجال اختُبرت فيه.

وقد خلَّت المعضلة خلال العشرينات، فقد اكتشف الراصدون أن ما اعتقدوه سحابًا منتشرًا بين النجوم هو فى الواقع نظم نجمية قائمة بذاتها، لا تقل حجمًا عن درب التبانة، وتقع على أبعاد سحيقة من النجوم التى نراها بأعيننا المجردة، وخرجوا من ذلك بأن الكون أكبر بكثير مما اعتُقد سابقًا، وأن المجرات، كما أطلق عليها، تضم

مئات من ملايين النجوم، تتناثر فى الكون الفسيح كما تتناثر الجزر فى المحيط الهادى، كما اكتشفوا أن هذه المجرات تتباعد عن بعضها البعض، وأن الفضاء بين المجرات يتسع باطِّراد، بالضبط كما تنبأت نظرية آينشتاين.

وفى رأيى أن هذا هو أعظم إثبات لصحة هذه النظرية ودقتهـا فـى وصف الكون، لقد أخبرت النظرية آينشتاين أن الكون يتمدد باطِّراد، ولكنه رفض تصديق ذلك، وظن أن بنظريته سوءًا حاول علاجه بإدخال عامل يلغى هذا التمدد(١). وقد جاء اكتشاف تمدد الكون مفاجأة للكثيرين، عدا القليل من المنَظرين الذين تقبلوا مدلول النظرية النسبية، وكانت الرياضيات التى تصف الكون المتمدد تقبع فى ثنايا المراجع والمجلات العلمية المتخصصة، وما أن ثبت ذلك حتى أصبحت النسبية العامة هى أساس فهمنا للكون برمّته. ويدلنا هذا التمدد على عمر الكون منذ بدأ مكدسًا فى نقطة مستعرة، ثم انفجرت فيما سمى بالانفجار العظيم، هذا الانفجار العظيم هو فى الواقع، من وجهة نظر معادلات النسبية العامة، الصورة العكسيـة للانهيـار النجمـى إلى ثقب أسود.

وجاء الشاهد على التمدد الكونى من فحص الضوء الآتى من المجرات، فالضوء الذى يأتى من أجرام سماوية يتحلل عن طريق المنشور الزجاجى إلى طيف لونى، يتميز عادة بحدود قاطعة بين مناطق من أطوال موجية، هذه الخطوط الطيفية تأتى فى جماعات تصدر كل جماعة عن ذرة عنصر معين. فذرة صوديوم مستثارة بالحرارة مثلاً تطلق ضوءًا أصفر فاقعا، كذلك الذى نألفه فى مصابيح الصوديوم.

وتدلنا الأطياف اللونية على ما تتكون منه النجوم من عناصر(٢)، كما تدلنا على التمدد الكونى، حيث نجد أن الأطياف القادمة من مجرات بعيدة تنزاح جميعها إلى اتجاه اللون الأحمر بالنسبة لنفس العناصر على الكرة الأرضية.

وترجمة هذا الانزياح الأحمر أن الضوء قد مُطَّ خلال رحلته إلينا، فخلال الوقت الذى يقطعه فى هذه الرحلة (والذى قد يستغرق ملايين السنين) يمط الفضاء فيما بيننا، متوافقًا تمامًا مع تنبؤ النظرية النسبية، فيمط الطول الموجى للضوء تبعا لذلك، ولأن اللون الأحمر هو اللون ذو الطول الموجى الأكبر، فإن معنى مط طول موجى للون

(١) ذكر آينشتاين فيما بعد أن هذا العامل كان أكبر عقبة فى مساره العلمى.

(٢) من المثير بهذا الخصوص أن نذكر أن غاز الهيليوم قد اكتشف بهذه الطريقة فى الشمس قبل اكتشافه على الأرض، وهو سبب تسميته، حيث اشتق الاسم من اسم الشمس فى اللغة الإغريقية (قارن اسم هيليوبوليس بمعنى مدينة الشمس)-المترجم

آخر هو انزياحه تجاه هذا اللون(١). هذا هو الانزياح الأحمر الكونى الذى يختلف عن الانزياح الأحمر الجذبى الذى أشرنا إليه فى الفصل السابق.

ولهذا النوع من الانزياح خاصيتان جديرتان بالذكر خلال سردنا للموضوع، وإن كانتا على غير علاقة بقصة الثقوب السوداء، الأولى أن الانزياح الأحمر ليس بسبب حركة متباعدة للمجرات عنا، بل بسبب انتفاخ الكون ذاته، كما تتباعد نقاط على سطح بالون منتفخ، الثانية هو أنه ليس معنى أن المجرات تتباعد عنا فى جميع الاتجاهات أننا فى مركز الكون، فهذه الصورة من التباعد سوف يلاحظها أى مراقب فى أى نقطة يكون فيها من الكون، ولكن المثير فى هذا الانزياح (بالإضافة إلى حقيقة وجوده) هو أنه يخبرنا عن بُعد المجرات عنا، فهو يتناسب طرديًا مع هذا البعد. كانت هذه هى الخلفية العلمية التى توافرت للفلكيين حين أسسوا تقنية الرصد اللاسلكى فى بداية الخمسينات.

المجرات الراديوية(٢) :

بحلول الخمسينات كان الفلكيون فى كمبردج قد تعرفوا على خمسين مصدراً مشعًا للموجات الكهرومغناطيسية فى الكون. لسوء الحظ فإنه لكون الموجات الراديوية أطول من موجات الضوء، فإن تحديد مصدرها يكون أكثر صعوبة، فالصورة الملتقطة عن طريق هذه الموجات تكون أقل تحديداً لتفاصيلها من الملتقطة بالتصوير الضوئى، وعلى ذلك فإنه كان من الصعب فى الأعوام الأولى للفلك اللاسلكى الحصول على الصور المرئية للمصادر الراديوية. ومع ذلك فإن نظاماً معيناً أمكن تمييزه فى مجرة

(١) التشبيه المقابل لذلك هو أنك حينما تسمع صفارة قطار مقترب منك تجدها حادة، بينما حين يبتعد عنك تسمعها أكثر غلظة، ويقابل اللون الأحمر الموجات الصوتية الغليظة، واللون الأزرق الموجات الصوتية الحادة، حيث إن الطول الموجى للصوت الغليظ أطول من الصوت الحاد، كما أن الطول الموجى للون الأحمر أطول من اللون الأزرق-المترجم

(٢) نقصد بصفة الراديوية تلك التى تشع موجات كهرومغناطيسية فى نطاق تردد الموجات الأكثر طولاً من الضوء (موجات البث الإذاعى والتلفازى)، أما كلمة "الكهرومغناطيسية" فمدلولها أعم، يشمل كل ما يشع موجات كهرومغناطيسية ، بما فى ذلك الموجات الأقل طولاً من موجات الضوء، كالأشعة فوق البنفسجية وأشعة إكس وأشعة جاما-المترجم

أندروميديا، أقرب المجرات إلى درب التبانة، وقد كان أخفت مصدر عرف وقتها، وقد افترض الرواد الأول للرصد الراديوى أن الأجرام الأخرى الأشد إشعاعا هى نجوم أقرب إلينا منه، وأنها موجودة فى مكان ما من درب التبانة.

وقد أثار هذا لغزًا لم يشغل بال أحد إلا نفرا قليلا ممن انتبهوا له، فمجرة درب التبانة على شكل قرص يشغل حيزًا معينًا من السماء، وتلك النجوم تبدو مبعثرة فى السماء بأكملها. وفى عام ١٩٥١ نشر جولد بحثًا معاصرًا للبحث الذى بين فيه أن أى نجم راديوى يجب أن يكون مكتنزًا، قال فيه إن ذلك التوزيع لمصادر البث الراديوى الفلكى يعنى أنها ليست نجومًا على الإطلاق، بل مجرات تقع خارج درب التبانة، على أبعاد سحيقة منها. ولم يؤيد هذا الرأى سوى فرد هويل **Fred Hoyle**، إذ كان معنى ذلك أنها تبث طاقة تبلغ عدة آلاف المرات أكثر مما قدَّره العلماء الآخرون، وهو ما لم يتحمَّله خيالهم.

وحدثت نقطة الانقلاب فى نفس العام، عندما قام جراهام سميث **Graham Smith** من كامبردج باختراع تقنية للرصد تسمى "قياس التداخل"**interfermetry**، وقد استخدمت لتحديد موضع مصدر راديوى قوى للغاية يعرف باسم الدجاجة أ[1] **.Cygnus A**، وفى هذه التقنية يتم الرصد من مكانين مختلفين فى آن واحد، فيكون التأثير كما لو كان المرء يستخدم تلسكوبًا أقوى مما لديه فعلاً. وقد طُورت هذه التقنية اليوم بحيث يمكن الرصد من مكانين على طرفى الكرة الأرضية، فتكون النتيجة تلسكوبًا بقدر قطرها، ورغم ضعف إمكانيات هذه التقنية وقت ابتكارها إلا أنها أتاحت لوالتر باد ورندلف منكوفسكى **Rudelph Minkowski** أن يقوما برصد شكل على هيئة الجرس يقع بكل تأكيد خارج درب التبانة. وقد ظن باد وقتها أنه نتيجة تصادم مجرتين، ولكن الرأى الشائع اليوم أنه مجرة متفجرة، وعلى أى من الرأيين، فعلى الرغم من قوة الدجاجة أ الهائلة فى البث الراديوى، إلا أن إشعاعه الضوئى من الخفوت لدرجة أنه لا يظهر إلا كبقعة صغيرة باهتة فى السماء حتى لأقوى التلسكوبات البصرية، وحين قاس باد وزميله الانزياح الأحمر، ذُهلوا لقيمته، فقد بلغ ٥,٧ بالمائة، وهى قيمة تعنى أنه على بعد عدة ملايين من السنين الضوئية، بسرعة تباعد **recession velocity** مذهلة؛ تبلغ

(١) يعنى الاسم أنه أقوى مصدر روقب فى هذا الاتجاه، ولكنه فى الواقع أبعد بكثير من كوكبة الدجاجة

سبعة عشر ألف كيلومتر فى الثانية! كما يبث طاقة راديوية تبلغ عشرة ملايين مرة قدر ما تبثه أندروميديا المجاورة لنا.

وما أن تم التعرف على هذا المصدر الراديوى، حتى تبعته مصادر أخرى، فقد قام الراصدون فى كمبردج برصد العديد منها، لا تزال مسماة إلى يومنا هذا بأرقام تسلسلها فى قائمة كمبردج، فمثلا: المصدر 3C 295 هو المصدر رقم ٢٩٥ فى الكتالوج رقم 3C، والذى اكتمل عام ١٩٥٩ ويضم ٤٧١ مصدراً. ويقع المصدر دجاجة أ تحت رقم 3C 405 فى ذلك الكتالوج. وليست كل هذه المصادر محددة كمجرات، فمنها ما يقع بالفعل داخل مجرّتنا، مثل السديم السرطانى (3C 144) ، والذى يحتوى على نجم نابض.

من أين تحصل هذه المصادر على الطاقة التى تمكنها من بث مثل هذا الكم من الإشعاع؟ لا أحد يعلم على وجه اليقين، ولكن بحثًا للعالم السوفيتى فيتالى جنزبرج Vitalli Ginzburg نشر عام ١٩٦١ قد أشار إلى احتمال أن يكون ذلك نتيجة تقلص فى قلب المجرات.

وليس فى هذا ما يدعو للدهشة، عدا المقياس الذى وصفه جنزبرج، فلو أنك ألقيت بصخرة على الأرض، فإنها تكتسب طاقة مع هبوطها وتسارعها (طاقة حركية)، فإذا ارتطمت بالأرض تسبب هذا فى تهيج لذرات الصخرة والأرض معًا، ينتج عنه ارتفاع (طفيف!) فى درجة الحرارة. لقد كانت الصخرة وهى فى يدك مكتسبة طاقة وضع نتيجة الجاذبية الأرضية، تحولت إلى طاقة حركة أثناء سقوطها، وتحولت الأخيرة إلى طاقة حرارية عند ارتطام الصخرة بالأرض. وحين تتقلص سحابة كونية لتصنع نجماً، فإن شيئًا كهذا يحدث ولكن على مقياس أكبر، فتسارع ذرات وجزيئات السحابة الغازية تؤدى إلى تهيُّجها وهى تتصادم فيما بينها، رافعة درجة حرارة مركز السحابة. إن هذا هو فى الواقع المصدر الأولى للطاقة التى يسمح ببدء الاندماج النووى الذى يحافظ على حرارة النجوم بعد تكونها، وإلى أن يستنفد الوقود النووى. يقول جنزبرج إنك لو أوتيت كمًا من المادة بضخامة سحابة كونية فإنه بإمكانك أن تنتج من الطاقة بقدر ما تشاء، وبقدر قوة التجاذب داخل السحابة، يكون سهولة إطلاق الطاقة منها.

وفى خلال أعوام من نشر جنزبرج بأن المجرات الراديوية تحصل على طاقتها بهذه الوسيلة أدرك العلماء أنهم يتعاملون فى بعض الأحيان مع مجالات جذبية هائلة

بالفعل، لقد بدأ الموضوع باكتشاف ما اعتقد فى البداية أنه مصدر راديوى حقيقى، ثم اتضح أنه شيء لم يتصوره عقل من قبل، ضمن أبعد أجسام مرئية عن الأرض، بعضها يتباعد بسرعة تقترب من تسعين بالمائة من سرعة الضوء، ترى بضوء قد استغرق أكثر من عشرة بلايين من السنين ليصل إلينا، أى خمسة بلايين عام قبل تكون الشمس والأرض.

أشباه النجوم (الكوازارات) :

كانت أول خطوة نحو اكتشاف الأجسام التى تعرف اليوم بأشباه النجوم قد حدثت عام ١٩٦٠ مع اكتشاف المقابل الضوئى **optical counterpart** لمصدر راديوى آخر، هو **3C 48**. بداية استخدم الفلكيون تلسكوبًا يحمل أكبر طبق هوائى قابل للتوجيه، وهو التلسكوب الراديوى الشهير المقام فى جوردل بانك **Jordell Bank**، المرتبط بنظام قياس تداخلى، ليكتشفوا أن الإشارة الراديوية قادمة من مصدر صغير فى السماء، قطره لا يزيد على قوس زاويته أربع ثوان (حجم المريخ حين يكون فى أبعد نقطة عن الأرض)، واستخدم توماس ماثاوز **Thomas Matthews** من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا هذه المعلومات ليستخدم تلسكوب التداخل المقام فى أونز فالى **Owns Vally** ليحدد موضع المصدر بأقصى دقة ممكنة، ثم قام زميله ألن ساندادج **Allen Sandage** بالتقاط صورة طويلة الزمن (تسعون دقيقة من تعريض اللوح الفوتوغرافى) من التلسكوب ذى ٢٠٠ بوصة قطرًا لتصوير هذا الموقع من السماء، وبين اللوح ما يشبه نجمًا أزرق، فى نفس موضع المصدر الراديوى بالضبط.

وأول ما يفعله الفلكيون عند التقاط صورة ضوئية هو تحليل طيفها. وحين فعلوا ذلك مع **3C 48** وجدوه غنيًا بالخطوط الطيفية، ولكن بصورة لم تشاهد لأى نجم من قبل، وعلى وجه الخصوص، لم يجد الباحثون أثرًا لطيف غاز الهيدروجين، وهو القاسم المشترك فى أطياف كافة النجوم بلا استثناء، إذ لا يخلو نجم من هذا العنصر الأولى.

أعلن ساندادج عن الاكتشاف أمام الجمعية الفلكية الأمريكية فى ديسمبر ١٩٦٠، ولكن لما كان عليه هو وزميله من بلبلة بشأنه لم يحاول نشره فى مطبوعات اللقاء، فلم يزد الأمر عن تعليق ظهر فى مجلة **Sky and Telscope** يقول:

حيث إن المصدر 3C 48 مجهول الهوية، فإن هناك احتمالاً بعيداً أن يكون مجرة بعيدة، والرأى السائد بين الفلكيين أنه نجم قريب نسبياً ذو خصائص غريبة.

وظل الإجماع على هذا الرأى حتى عام ١٩٦٣، حين بيّن مزيد من الأبحاث فساد ذلك الإجماع. نبعت هذه الأبحاث من فكرة جديدة لتحديد موضع المصادر الراديوية، وضعها الفلكى البريطانى سيريل هازارد Syril Hazard. ، تتأسس هذه الفكرة على حقيقة حجب القمر للنجوم التى يعبر السماء أمامها خلال حركته، وقد بين هازارد أن التحديد الدقيق لوقت حجب الموجات الراديوية وعودتها، يجعل من الممكن- باستخدام حجم القمر- تحديد مواضع هذه المصادر، حقيقة يؤدى ذلك إلى موضعين محتملين للمصدر، ولكن الفلكى المتمرِّس يمكنه أن يميز الموضع الصحيح.

ولكنك لو كنت محظوظاً يمكنك تحقيق ما هو أفضل، فقد استخدم هازارد بالفعل هذا الأسلوب عام ١٩٦٢ لمصدر راديوى هو 3C 273 لم يكن قد ميز بجسم مرئى بعد، من المنتظر له حجب قمرى ثلاث مرات، مما يمكِّنه أن يحدد بصورة تقريبية موضعه، لذلك استخدم هازارد وزملاؤه فى استراليا تلسكوبا راديوياً حديثاً بمرصد باركز Parkes لمراقبة حالات الحجبِ الثلاث، ثم قاموا بالتقاط صورة من تلسكوب ذى قطر ٢٠٠ بوصة بيَّن مرة أخرى ما يمكن أن يعتبر نجماً أزرق، فى نفس موضع المصدر الراديوى، ولكنه هذه المرة كان ينفث مواداً فى الفضاء.

وكان "النجم" أيضاً يعطى طيفاً غير عادى، ولكن الفلكى الهولندى المولد مارتن شميدت Maarten Schmidt الذى كان يعمل بكاليفورنيا قدم تعليلا لذلك؛ فقد ميز بعض الخطوط على أنها طيف الهيدروجين، ولكن بانزياح أحمر كبير بدرجة غير عادية، قيمته ١٦ بالمائة. وبقبول هذا الرأى، تكون كل مناطق الطيف الأخرى فى مواضع معروفة. على الفور قام زميله جس جرينتشاين Jesse Greenstein الذى قام بالتقاط طيف 3C 48 فى عام ١٩٦٢ بإلقاء نظرة على المعلومات القديمة، فوجد أن الطيف بالفعل يعانى من انزياح أحمر، بل أكبر درجة بمراحل من الأول، إذ كانت قيمته ٣٧ بالمائة، وهو ما يقابل سرعة تباعد ١١٠ ألف كيلومتر فى الثانية، ومسافة عن الأرض تبلغ عدة بلايين من السنوات الضوئية!

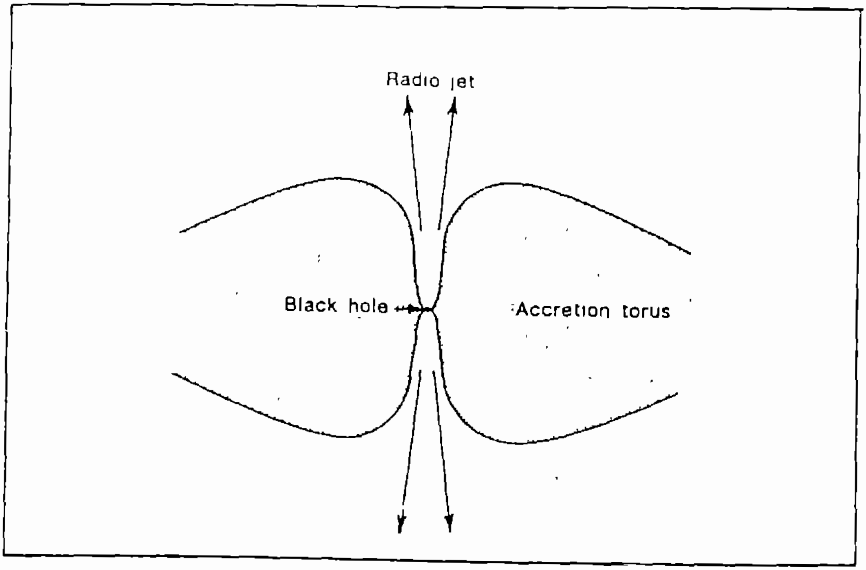
وظهر نبأ اكتشاف 3C 273 من فريق باركز، وبحث شميدت عن الانزياح الأحمر له، وبحث جرينشتاين عن الانزياح الأحمر لـ 3C 273 كلها عام ١٩٦٣ فى نفس العدد من مجلة .Nature وقد بيَّن شميدت فى بحثه أن تعليل هذا الانزياح الأحمر الهائل يكون إما بتمدد الكون أو بقوة جذب للضوء، ولكنه وصف أحد الأطياف بأن تعليله عن طريق الانزياح الجذبى هو "من الصعب، بل وقد يكون من المستحيل"، ثم استطرد: "وعلى ذلك فإن التعليل الأكثر قبولاً اليوم هو أنها مجرات فائقة النشاط"، وهو التعليل الذى بقى سائداً إلى ثلاثين عاماً بعد القول به، فإلى اليوم يعتقد أن هذه الأجسام التى تشبه النجوم ولكنها ذات انزياح أحمر هائل، والتى اكتشف المئات منها إلى اليوم، هى على البعد السحيق الذى يبينه انزياحها الأحمر.

المحطات الكونية للطاقة :

أُطلق على هذه الأجسام عند اكتشافها وصف quasi-stellar أى "الشبيهة بالنجوم"، ثم اختصر الوصف إلى الاسم الذى يطلق عليها اليوم، "quasars"، ونحن نعرف اليوم، بقدر معرفتنا بأى شىء آخر فى الفلك، أن أشباه النجوم هى قلب لمجرات على أبعاد سحيقة، تنتج كميات هائلة من الطاقة، مئات الأضعاف أو أكثر لمجرة معتادة مثل أندروميديا، مما يجعلها مرئية على هذا البعد الشاسع، على أن التغير فى طاقاتها يجعل حجمها - بنفس المنطق الذى حددت به أحجام النجوم النابضات - لا يزيد عن قطر نظامنا الشمسى، إنها محطات كونية لإنتاج طاقة لا مثيل لها. ولكن كيف لمصدر صغير بهذه الصورة أن ينتج طاقة بهذا القدر؟ لقد افترض فرد هويل وويلى فاولر أن هذه الطاقة لا تنتج إلا من جسم له كتلة أضعاف كتلة الشمس بمائة مليون ضعف، ينهار إلى قطر شفارتزشلد، وهذا القطر لجسم بهذه الكتلة يبلغ بالفعل قطر نظامنا الشمسى تقريباً، ولكن تطلب الأمر عشر سنوات أُخر قبل أن يقتنع الفلكيون بأن أشباه النجوم هى حقيقة ثقوب سوداء جبارة.

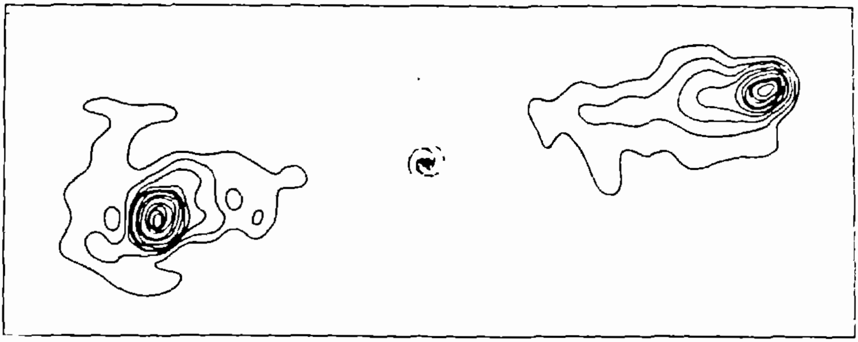
كان هذا جزئياً لسبق اكتشاف أشباه النجوم، أى قبل اكتشاف النجوم النابضات والتى منها عُرفت النجوم النيوترونية التى تعتبر إرهاصات للثقوب السوداء، وقد طُرِحت خلال الستينات أفكار عديدة عن طريقة إنتاج هذه الأجسام للطاقة، رفضت جميعها. ولكن واحداً منها قدمه الباحثان السوفيتيان ياكوف زل-دوفيتش Yakov Zel'dovich

وإيجور نوفيكوف Igor Novikov صمد أمام اختبار الزمن، فعلى الرغم من إجراء بعض التعديلات عليه، فمضمونه لا يزال سارياً، إنه يعطى صورة لثقب أسود، بكتلة تبلغ مليون مرة قدر كتلة الشمس، يقبع في قلب مجرة شابة، محاطًا بقرص دوّار من مادة وهو ماض فى التهامها، فكل جرعة يلتهمها تطلق الطاقة الجذبية، وتزيد من درجة حرارة المادة المحيطة. ولكن لكونها محاطة بقرص من المادة، فإن الطاقة من منطقة خارج الثقب الأسود مباشرة سوف تلتوى عند قطبيها، فتطلق غالبا نفاثا كالذى شوهد من 3C 273. (شكل ٤-١)[١]، هذا فى الواقع هو نفس طريقة إطلاق النجوم النابضات لطاقتها، ولكن وقتها لم يكن قد سمع أحد بهذا النوع من النجوم.



(شكل ٤-١) قرص المادة يدور حول الثقب الأسود، تاركًا قناتين ضيقتين، عند قطب الثقب، تنفث منه الطاقة والمادة.

(١) يفترض أن تكون المجرة القابع بها الثقب شابة، فانطلاق الضوء منها منذ عدة بلايين من السنين يعنى أنها كانت بالكاد قد تكونت بعد الانفجار العظيم، ومن المنطقى أن نتوقع أنه فى هذه الفترة المبكرة من عمر الكون وجد قدر من المادة يفى بفكرة التهام الثقب الأسود لها. ويبرر ذلك ألا تبدو هذه الظاهرة فى الثقوب السوداء القابعة فى قلب مجرات قريبة منا، أى الحديثة نسبياً فى التكون، حيث لا توجد مادة حرة يستطيع ذلك الوحش التهامها.



(شكل ٤-٢) نفثات من الطاقة مشعة من ثقب أسود هائل الكتلة يمكن أن تفسر سبب وقوع العديد من المجرات فى منتصف منطقتين من الشوشرة الراديوية، فهذه الشوشرة قد تكون آتية من منطقة يتفاعل فيها ثقب أسود فى موقع متوسط مع غازات الفضاء.

وتوجد خاصيتان مميزتان لهذا الثقب الأسود من وجهة نظر كتابنا هذا. الأولى أنه على ضخامة كتلة هذه الأجسام، فإن كثافتها لا تزيد عن كثافة الشمس، أى أقل من ضعف كثافة الماء، إنها تقريبًا نفس الثقب الأسود الذى تحدث عنه ميشيل فى القرن الثامن عشر! الخاصية الثانية التى تدعو للاندهاش أن تحول الطاقة الجذبية إلى هذا القدر من الإشعاع خلال التهام الثقب للمادة لا يحتاج إلا لما قيمته مرتين قدر شمسنا أو ثلاثة، ولما كانت المجرة تحتوى على مادة بقدر عدة ملايين من الشمس، فإن هذا يعنى أن شبه النجم يمكنه أن يظل مطلقًا لهذه الطاقة لملايين السنين.

ولكن الأهم هو أنه لا يوجد تعليل بديل لإنتاج كل هذا الحجم من الطاقة من أشباه النجوم، فوجودها أقوى دليل على وجود الثقوب السوداء، وقد أضحى الاقتناع بوجودها فى قلب المجرات، ومنها مجرّتنا، أمراً شبه مجمع عليه من علماء الفلك. الفرق بين الثقب الأسود الخامد فى قلب مجرّتنا وذلك القابع فى قلب أشباه النجوم هو أن الأول لا يحتوى على كتلة إلا بقدر مليون شمس (فقط!)، وأنه قد التهم كل المادة المحيطة به، ولم يعد أمامه شىء لالتهامه.

كل هذه الأفكار لم تستقر إلا فى نهاية السبعينات، بل بالنسبة للبعض منها فى نهاية الثمانينات. لماذا كان هذا التأخر، حتى بعد اكتشاف النابضات؟ جزئيًا لأن فهم الثقوب السوداء كان لا يزال رهن التطور خلال الستينات والسبعينات (سوف نعرض للأمر بالتفصيل فى الفصل القادم)، ولكن السبب الجوهرى هو أن اكتشاف دليل دامغ على وجودها بكتلة لا تزيد كثيراً عن كتلة الشمس فى قلب درب التبانة لم يتم إلاّ فى نهاية السبعينات، وعندها اقتنع الجميع أن فكرة الثقوب السوداء فائقة الكتلة تسير فى الخط الصحيح، ولكن الأساس لهذا الاكتشاف يرجع فى الواقع إلى يونيو من عام ١٩٦٢، حين كان هازارد ورفاقه يناضلون لتحديد موضع 3C 273 عن طريق الحجب القمرى.

نجوم الإشعاع السينى :

لا يتكون الطيف الكهرومغناطيسى من ضوء وموجات راديوية فقط، بل يتضمن الأشعة تحت الحمراء(١)، وفوق البنفسجية، والسينية، وأشعة جاما. كلها تطيع قانون ماكسويل فى انطلاقها بسرعة الضوء، على أنه لا يخترق الهواء الجوى من الطيف الكهرومغناطيسى سوى الضوء والأشعة الراديوية. فلرؤية كيف يبدو الكون عن طريق الأشعة الأخرى من الطيف كان على العلماء إطلاق الأجهزة عاليًا فوق طبقة الغلاف الجوى، بالبالونات أولاً، ثم بالصواريخ، ثم بالأقمار الصناعية. وفى عام ١٩٤٨ استخدم صاروخ ألمانى شهير هو ف-٢، كسبه الحلفاء خلال الحرب، فى رفع أجهزة لرصد الشمس، تبين منها أنها مصدر للأشعة السينية، بالإضافة إلى ما تشعه من ضوء وأشعة راديوية، والأشعة السينية أكثر طاقة من الضوء، لكونها أعلى تردداً (أقصر فى الطول الموجى)(٢)، والمفروض ألا تشع بغزارة إلا من أجرام أكثر سخونة من الشمس،

(١) تمثل الموجات الراديوية أدنى السلم الطيفى للموجات الكهرومغناطيسية من حيث التردد، وأشعة جاما أعلاه، وبالترتيب الوارد فى المتن (تلاحظ أن التردد عكس الطول الموجى، فأطول الموجات هى الراديوية، وأقصرها هى أشعة جاما)، وننوه هنا بأمرين، الأول أن ما تسمى أشعة كونية لا تدخل فى هذا الطيف، لأنها جسيمات وليست موجات، والثانى أنه طبقًا للنظرية الكمية فإن الطاقة التى يحملها شعاع تتناسب طرديا مع تردده-المترجم

(٢) تنبع هذه الحقيقة من النظرية الكمية التى وضعها ماك بلانك عام ١٩٠٠ -المترجم

وقد كان هذا أمراً مستبعداً. ولم يندهش العلماء من أن تشع الشمس هذه الأشعة، خاصة فى مواضع البقع الشمسية حيث يكون نشاطها فى ذروته، ولكن إذا كانت النجوم ضعيفة فى إشعاعها السينى، فلن يكون هناك أمل من استخدام هذا النوع من الإشعاع فى الرصد الفلكى بصورة عملية، ورغم أن أبحاث الإشعاع السينى للشمس كانت على قدم وساق فى الخمسينات، إلا أن أحدا لم يتوقع أن يحصل على إشعاع ذى قيمة من أحد الأجرام الأبعد من ذلك فى الفضاء، لقد فتح باب الرصد السينى فى الواقع عند محاولة تطبيقه على جرم سماوى أقرب من الشمس، ألا وهو القمر.

على أن القمر بطبيعة الحال أبرد من أن يصدر إشعاعًا سينيًا خاصًا به، ولكن بعض العلماء ذهبوا إلى أن الرياح الشمسية عند اصطدامها بالقمر قد تستثير جزيئات سطحه فتجعلها تشع هذه الموجات على ترددات تتغير بحسب المواد المستثارة، ولو كان هذا الرأى صحيحًا فسوف يكون مفيداً فى معرفة تكوين القمر، عن طريق تقنية تسمى التحليل الطيفى السينى. وأجريت التجربة الأولى فى ١٨ يونيو عام ١٩٦٢، ولم توفق، بمعنى عدم الحصول على إشعاع سينى من القمر[١]، ولكنها كانت فتحًا عظيماً غير متوقع فى اتجاه آخر، حين التقطت ذلك الإشعاع قوياً من نقطة معينة فى الفضاء.

لم تستغرق الرحلة أكثر من ست دقائق، أحست الأجهزة خلالها بخلفية إشعاعية سينية واهنة من كل أرجاء السماء، ثم إشارة لمصدر واحد على الأقل، ضعيف الإشعاع، من نقطة معينة منها، ولكن الوضاء منها هو الذى أثار الانتباه، لقد بدا أنه بعيد عن النظام الشمسى فى أغوار الفضاء، وتأكد ذلك فيما بعد عن طريق إطلاق صاروخى آخر، وأنه يأتى دائماً من نفس الموضع، فى كوكبة العقرب scorpius، فسمى عقرب س -١ Sco X-1 (أى أول مصدر سينى يرى فى هذه المنطقة)، إن شيئ ما هناك ذا طاقة تسمح ببث هذه الأشعة بغزارة، إنه نجم سينى حقيقى.

ثم توالت اكتشافات النجوم السينية، ولكن لم يعرف أحد فى البداية أى نوع من النجوم يمكنه أن يشع هذه الموجات، لقد عانى الرصد السينى فى بداية عهده من نفس مشكلة الرصد الراديوى فى بدايته، ألا وهى عدم الدقة فى تحديد المصدر. كانت هذه

(١) لم ينجح الرصد السينى من القمر فى الواقع إلا فى نهاية ١٩٩٠، باستخدام أجهزة محملة على قمر صناعى.

المشكلة بالنسبة للرصد الراديوى بسبب طولها الموجى، ولم يكن ذلك إلا بسبب بدائية الأجهزة وضعف تركيزها، الأكثر من ذلك أن الأجهزة كانت متحركة، مما يزيد من صعوبة تحديد موضع الإشعاع بدقة، ومن ثم فقد استعار راصدو الأشعة السينية بعض التقنيات من الرصد الراديوى لكى يحددوا موضع مصدر واحد على الأقل، وكان أول ما نجحوا فيه مقترنا بصورته الضوئية هو نجم فى سديم السرطان.

أُجريت هذه التجربة فى أبريل من عام ١٩٦٣، وحَدَّدت بدقة موضع عقرب س -١، ثم بينت مصدراً خافتًا فى اتجاه سديم السرطان، ولم يستبعد أن يكون ذلك المصدر واقعا بالفعل فى ذلك السديم، فهو قبل أى شىء من بقايا تفجر مستعر أعظم. وقد اقترح هربرت فريدمان Herbert Friedman من معمل أبحاث البحرية الأمريكية أن يكون الإشعاع صادراً من نجم نيوترونى متخلف عن ذلك الانفجار، وأن النجم عقرب س -١ هو بدوره متخلف عن انفجار مستعر أعظم، وكانت هذه الآراء إحياء لفكرة أن النجوم النيوترونية هى مخلفات الانفجارات للمستعرات العظمى التى قال بها تزفكى وباد منذ ثلاثين عاماً، ولقيت رواجا باكتشاف النابضات.

كان فريدمان سعيد الحظ، ففى الوقت الذى اكتشف فيه مع زملائه المصدر الذى يظن أنه واقع فى سديم العقرب، كانت تقنية هازارد المبنية على الحجب القمرى قد نجحت فى تحديد موضع 3C 273، والأكثر من ذلك أن سديم العقرب يقع فى منطقة جيدة للحجب القمرى، ويحدث ذلك مرة كل تسع سنوات، ولكن موعد الحجب التالى كان السابع من يوليو من عام ١٩٦٤، كان أمام فريدمان وقت متاح للتجهيز لرحلة لرصد هذا المصدر خلال الحجب القمرى.

ولكن الأمر لم يكن بالبساطة التى توحيها عباراتى، فالرحلة يجب أن تكون من الدقة بحيث تتفق مع مدة الحجب، ومقدارها خمس دقائق، ولم تكن تقنية إطلاق الصواريخ على هذه الدرجة من الدقة، وقد فشلت ست تجارب تمهيدية بسبب عدم دقة أجهزة التحكم، ولكن التجربة الحقيقية أصابت نجاحًا باهراً، وبينت أن المصدر واقع بالفعل فى قلب سديم السرطان، وميزه فريدمان كنجم نيوترونى، ولكن هذه الفكرة لم تُقبل تمامًا إلا بعد اكتشاف النجوم النابضات، وحتى بدون ذلك الاكتشاف، فقد بينت التجارب التالية أن الإشعاع السينى مرتبط بنجوم مكتنزة.

محطات الطاقة السماوية :

كانت ثقة فريدمان فى كون أحد مصادر الإشعاع السينى على الأقل هو نجم نيوترونى مؤسسة على كمية الطاقة التى تنتج من هذا النوع من النجوم. فكما بينت سابقًا فإن إلقاء المادة فى مجال جذبى قوى هى طريقة فعالة فى إنتاج الطاقة، فالمادة تتسارع بمعدل كبير، وحين تصطدم بسطح النجم تتحول الطاقة الحركية إلى حرارة، لدرجة تمكنه من إصدار إشعاع يمكن أن يصل فى حالة النجوم النيوترونية إلى الموجات السينية. هذه الحقيقة تُستخلص من المبادئ الأساسية حتى فى عام ١٩٦٤ (إذا كنت تعتقد فى وجود النجوم النيوترونية)، ولكن ما الشواهد التى تؤيد ذلك؟

جاء ذلك بتحديد عقرب س -١ بنجم مرئى، فمع تقدم أجهزة الرصد السينى تمكن الفلكيون من تحديد الموضع بدقة فى مارس من عام ١٩٦٦ مما مكن الراصدين البصريين من رؤيته. وفى يونيو من ذلك العام (قبل عام كامل من اكتشاف النابضات) وجد الفلكيون اليابانيون باستخدام تلسكوب قطر ٢٠٠ بوصة، نجمًا فى الموضع المتوقع من ذلك النجم، ووجدوه يغير من لمعانه من دقيقة لأخرى بصورة غير عادية، ولكن الأمر الذى بدا غريبًا أن إشعاعه من الطيف السينى أغزر من الطيف المرئى، ويبلغ فى مجموعه مائة ألف مرة قدر الإشعاع الكلى للشمس.

يمكن تفسير هذه الخصائص من وميض، وتوهج، وطاقة كلية بخطوة واحدة، إن الأمر يتطلب نظامًا نجميًا ثنائيًا، أى نجمين يدور كل واحد منهما حول الآخر. فى هذه الحالة، لو افترضنا أن أحد النجمين مكتنز، وأن الآخر أكبر حجمًا وذو جو منتشر، فإنَّ النجم الأول يمكنه اقتناص المادة من الثانى مكونًا القرص الدوامى السابق وصفه، والذى يكتسب حرارة من المجال الجذبى، أى صورة مصغرة من أشباه النجوم، على الرغم من أن نموذج أشباه النجوم لم يكن قد استقر بعد فى أذهان أغلب الفلكيين حتى فى عام ١٩٦٩، فالنجم المكتنز محاط بغاز من البلازما يشع الموجات السينية (مع قليل من الضوء) يتجدد باستمرار بما يأتيه من النجم الآخر.

وفى عام ١٩٦٩ كان باستطاعتى أن أفسر تغير الضوء من النجم عقرب س -١ بمدلول تغير درجة حرارة غاز البلازما تحت هذه الظروف، فالوميض يأتى عادةً رتيبًا ثم يزداد غزارة إلى أن يتفجر متوهجًا، ويفسر ذلك بجرعة زائدة من المادة الملتهمة، أشبه بناقوس يقرع بمقرعة هائلة.

ويعتمد تذبذب هذا الغاز الحار من البلازما على الظروف الفيزيائية (كدرجة الحرارة والكثافة) وعلى قوة المجال الجذبى الذى يمسك به، وعلى ذلك فقد بين التذبذب فى بلازما عقرب س -١ مدى المجال الجذبى، ولم تكن النتيجة التى وصلتُ إليها لتدهش أحداً، فقد بينت أن النجم ليس على شاكلة الشمس، بل على الأقل قزم أبيض، ومن المحتمل أن يكون نجما نيوترونياً.

على أن النظام الثنائى النجمى قد أصبح عنصراً جوهرياً فى الخطوة الحاسمة التالية، والتى حدثت فى السبعينات، ولم تدع شكاً فى أن مصدراً واحدا على الأقل هو ثقب أسود.

المرشح الأفضل :

أخذ الرصد السينى خطوة جبارة بإطلاق القمر الصناعى المخصص لذلك يوم ١٢ ديسمبر عام ١٩٧٠، فبدلاً من رحلة صاروخية لعدة دقائق أصبحت الأجهزة تمسح السماء طالما لديها قدرة على العمل، وطالما أن القمر فى مداره المرسوم، ناهيك عن تطور فى الأجهزة على مدى ثمانى سنوات.

كان أول إطلاق لقمر صناعى للرصد السينى من موضع على شاطئ كينيا على الجانب الشرقى من أفريقيا، إلى الجنوب قليلاً من خط الاستواء، وقد اختير هذا الموقع لأنه بإطلاق الصاروخ منه فى مدار يتجه من الغرب إلى الشرق فإن حركة دوران الأرض سوف تساعد فى عملية الانطلاق، وقد اختير اليوم لكونه يوافق عيد الاستقلال السابع لكينيا عن إنجلترا، وقد أطلق على القمر اسم أوهورو Uhuru، والذى يعنى باللغة السواحلية "الحرية"، وللاسم مغزاه أيضا بالنسبة للفلكيين، فهو قد حررهم لأول مرة من التأثير السلبى للغلاف الجوى الأرضى على عمليات الرصد.

ويمكن تشبيه أثر أوهورو فى فترة عمره لثلاث سنوات كما لو أن الأرض قد أحيطت بغلاف كثيف منذ نشأتها إلى يوم ١٢ ديسمبر عام ١٩٧٠، ثم أزيل الغلاف فى ذلك اليوم لتنكشف السماء بنجومها، وقد بين أوهورو أن السماء مغطاة بمصادر للإشعاع السينى، بعضها مرئى والبعض الآخر ليس كذلك، والبعض منها واضح كونه جزءا من درب التبانة، مثل عقرب س -١ ومصدر سديم العقرب، والبعض الآخر منتمٍ

لمجرات أكثر بعدا. لقد بدا الكون يموج بالطاقة بصورة لم يتخّيلها الفلكيون حتى بعد اكتشاف عقرب س -١، وقد بين أوهورو والأقمار التالية له أن المصادر السينية فى تغير كمثل أول نوع اكتشف منها.

وقصة الفلك بعد ذلك اليوم المشهود تحتاج لعدة كتب لروايتها، وقد كان ذلك بالفعل، ولكنى سوف أركز على مصدر معين من مصادر الإشعاع السينى، ذلك المسمى دجاجة س-١، لكونه أول مصدر اكتشف فى كوكبة الدجاجة.

إن بعض النجوم السينية التى اكتشفها أوهورو والأقمار التى من بعده تعطى نبضاً كالذى تعطيه النابضات، ويفسر ذلك بدوران النجم النيوترونى الذى يكتسب طاقته من المادة الملتهمة من رفيقه، والسبب فى كوننا لم نر ذلك النبض من عقرب س -١، (وأيضاً الكثير من النابضات) هو أن الأرض لم تقع فى مجال الشعاع "الفنارى" له. على أن النجم دجاجة س-١ لم يكن من النابضات، كما أنه لم يتشابه تماماً مع عقرب س -١، فالتغير الذى يحدث للأول فى إشعاعه أسرع بمراحل من الثانى، مما يدل على أنه فى قبضة مجال جذبى غاية فى الشدة، ولما كان عقرب س -١ قد اعتبر نجماً نيوترونيا، فإن الأمر بدا مستغرباً، ومن جهة أخرى فإن سرعة الوميض قد بينت أن النجم غير المرئى لا يتجاوز قطره ٣٠٠ كيلومتر.

ومع دقة تحديد موضع دجاجة س-١ بدأ الرصد البصرى لتحديد موضعه، ولكن للأسف وجدت كثير من النجوم بالقرب من المكان، مما تعذر معه تحديد النجم المقصود، ربما يمكن للرصد الراديوى أن يقدم عونا، وفى ١٣ مايو ١٩٧١ التقطت أجهزتهم فى مرصد جرين بانك فى وست فرجينيا بالفعل مصدراً راديوياً فى هذا الاتجاه، كما تأيد ذلك من مرصد وستربروك فى هولندا. على أن الأمر العجيب هو أنه حين التقط البث الراديوى انخفض البث السينى لدجاجة س-١ إلى الربع، ولم يكن فى استطاعة أحد إلى الآن تفسير ذلك تماماً، ولكن من المؤكد أن هذا المصدر الراديوى الجديد هو قرين لذلك النجم، وأن طاقته قد تحولت بوسيلة ما من إشعاع سينى إلى راديوى، وقد أعطى راصدو الراديو تقديرين لموقع المصدر، اتفقا سوياً على الموضع الذى حدد له من قبل، وكان ذلك فى كتالوج هارفارد، فأعطى الاسم HDE 226868 .

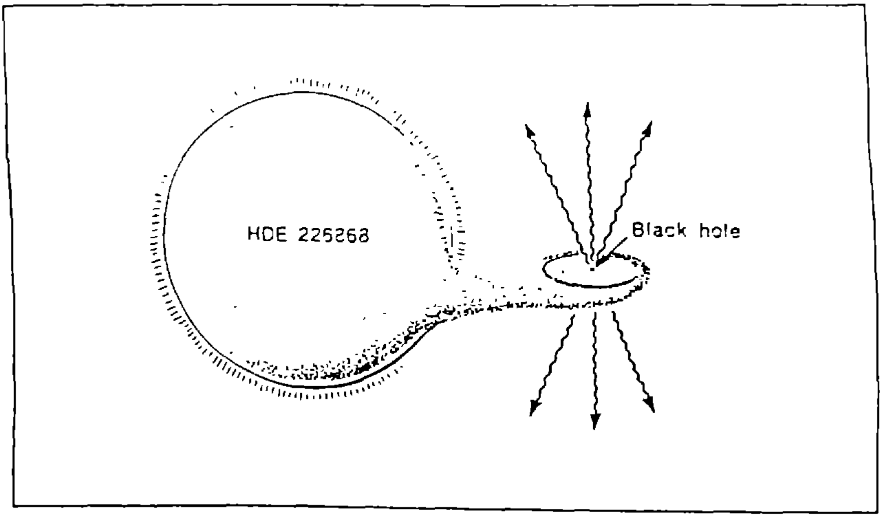
يعتبر هذا النجم من النوع B، أكبر وأشد تضوؤا من الشمس، عملاق فائق أزرق، ولكنه وقد بدا خافتا لهذه الدرجة يعنى أنه على بعد سحيق، وسرعان ما وجه الراصدون البصريون مناظيرهم فى ذلك الاتجاه، وما لبث أن وجدوه قريناً لنجم فى نظام ثنائى غير منظور، يدور حوله مرة كل ٥,٦ ساعة.

إن العملاق الأزرق لا يقل حجمه عن ١٢ مرة قدر الشمس، وأغلب هذه النجوم له كتل ٢٠ إلى ٣٠ مرة، وباستخدام قوانين كبلر ونيوتن، يكون القرين ذا حجم يبلغ ثلاثة

أضعاف الشمس، ولو كان النجم HDE 226868 أكثر كتلة، لكان قرينه بالتالى أكبر كتلة ليتمكن من الإمساك به، القرين إذن يبلغ على الأقل ثلاثة أضعاف كتلة الشمس! ولا يمكن أن يكون نجمًا وضًاء، وإلا لكشفت عنه المراصد، بالإضافة إلى أن الوميض بيّن أن قطره لا يزيد عن ٣٠٠ كيلومتر، لقد تجاوز حد أوبنهايمر- فولكوف. لم يعد من شك فى أن قرين النجم HDE 226868 هو ثقب أسود.

منذ ذلك الحين تواترت الشواهد على أن النجم دجاجة س-١ هو ثقب أسود، من ذلك التحليل الطيفى للنظام وتحليل الحركة المدارية له، وقد وصلت الأبحاث التالية إلى تقدير لكتلة النجم HDE 226868 تبلغ ١٦ مرة قدر الشمس، مما يعنى أن دجاجة س-١ تبلغ سبعة أضعاف كتلة الشمس، مع احتمال أن يبلغ الأول ٣٣ ضعف الشمس، وفى هذه الحالة يكون الثقب الأسود ٢٠ مرة قدر كتلة الشمس.

من الصعب القطع بأمر جرم على بُعد آلاف من السنوات الضوئية، ولكن سوف يظل دجاجة س-١ أفضل نجم مرشح لأن يكون ثقبًا أسودًا، ويستدعى ذلك قبول فكرة وجود مئات الملايين منها داخل مجرتنا وحدها، ولو أنه لم يكتشف إلا النزر اليسير منها للآن.



(شكل ٤-٣) على مقياس أصغر من (شكل ٤-٢) بكثير، كان أول ثقب أسود يتم التعرف عليه تفسيرا لمصدر الإشعاع القوى للموجات السينية بالقرب من النجم HDE 226868، الذى ينتزع الثقب الأسود المادة منه مكونا طبقا دواميا تتحول طاقة الجذب فيه إلى أشعة سينية، هذا المصدر يسمى دجاجة س-١.

كمٌّ غزير من الاحتمالات :

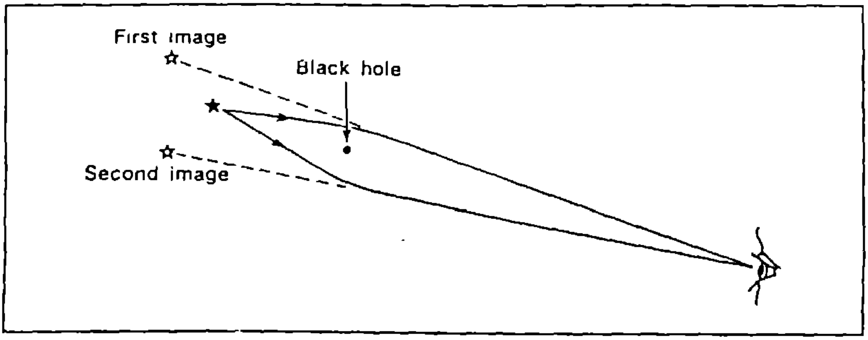
فيما يختص بعام ١٩٩١، وجدت خمس حالات لمصادر الأشعة السينية تعطى دلائل قوية بأن قوة جذب الثقب الأسود تعطى طاقة تكفى لإشعاع هذه الموجات، وفى حالتين من الخمس فإن الدلائل تبيِّن أن المصدر فى نفس قوة دجاجة س-١، وبعد عشرين عاماً من إطلاق أوهورو يشعر المرء بالإحباط أن لم تزد الدلائل عن ذلك، مقارنة بحقيقة أنه منذ اكتشاف أول نابض عام ١٩٦٧ تعرف الفلكيون على خمسمائة نجم نيوترونى. على أن هذه المقارنة غير عادلة، فالنابض لا يشترط أن يكون جزءاً من نظام ثنائى لإمكان التعرف عليه، فالنجم المنفرد منه يمكن التعرف عليه عن طريق إشعاعه الخاص به. ولكن الثقب الأسود المنفرد الذى لا يجد ما يلتهمه يكون له من اسمه نصيب، أسود لا يمكن التعرف عليه. على أن حقيقة أن عدد النجوم المرشحة أن تكون ثقوباً سوداء يساوى عدد ما يكتشف من نظم ثنائية من النابضات يوحى أن عدد الثقوب السوداء المنفردة يساوى عدد النابضات المنفردة.

كم يبلغ ذلك؟ يرى معظم الفلكيين أن عـــدد الخمسمائة نابـض المكتشـــفة ليس إلا قمة جبل الجليد، فالنابض مهما كان الأمر لا يعيش للأبد، فما نراه منها هى النجوم الشابة، أما التى يتقادم بها العمر فتذوى ولا يمكن رؤيتها، إن لدى العلماء فكرة طيبة عن دورة حياة النجوم، وكيف أن عدداً منها ينتهى بانفجار مستعر أعظم كل عدة آلاف من السنين فى مجرة كمجرتنا، تحتوى المجرة على عدة ملايين من النجوم، وقد ظلت عدة آلاف الملايين من السنين، فإذا افترضنا انفجاراً كل ألف عام، كان معنى ذلك حوالى أربعة ملايين نابض ميت بداخل المجرة، ويقترح البعض أن ثلث العدد هو ثقوب سوداء منفردة فى المجرة. لو كان الأمر كذلك، فإن الأقرب منا يكون على مرمى حجر بالمقاييس الفلكية، مجرد خمس عشرة سنة ضوئية، مراوغ يستعصى على الكشف.

وحيث إن مجرتنا لا تتمتع بوضع خاص، فإن نفس الشىء ينطبق على بقية المجرات الكبيرة الحجم كمجرتنا، وقد يرى الفلكى المتحفظ أن القول بأن كل المجرات كبيرة الحجم تحتوى على ثقوب سوداء فائقة الحجم قول ينقصه الدليل، على أن الصور التى التقطها القمر الصناعى فى ١٩٩٠ قد أمدت الفلكيين لأول مرة بتصور عن السماء من وجة نظر الأشعة السينية، وصور فوتوغرافية خلال تلسكوبات بصرية. لقد وجد القمر خلال عدة شهور من إطلاقه ٢٤ شبه نجم يصدر الأشعة السينية (أى شبه نجم

يرى بصرياً ويصدر أيضًا أشعة سينية) فى منطقة من السماء لا تزيد عن ثلث درجة مربعة، مما يعنى ٧٢ مصدراً لكل درجة مربعة من السماء، ومن المستحيل تبرير إنتاج هذا الكم من الأشعة السينية بواسطة أشباه نجوم يمكن الإحساس بها على هذا البعد السحيق دون أخذ الثقوب السوداء فى الاعتبار.

وليس معيار الطاقة هو القول الأخير فى الأمر. فقد دُهش علماء الفلك لرؤية بعض أشباه النجوم متطابقة فى الشكل، وكان التعليل أن الضوء الآتى منها قد عانى انحناء بسبب جاذبية جرم ما، كما يحدث فى العدسات البصرية. يعرف الفلكيون هذه الظاهرة باسم العدسة الجذبية (شكل ٤-٤)، تحدث هذه الظاهرة أحياناً بسبب وجود مجرة تعترض مسار الأشعة بين الأرض والمصدر، ولكن فى حالات ثلاث على الأقل لم تشاهد مجرة معترضة، ومن المحتمل، وإن كان من غير المؤكد، أن السبب هو ثقب أسود هائل يبلغ قدر كتلة الشمس عدة آلاف بليون مرة.



(شكل ٤-٤) يمكن أن يقوم الثقب الأسود بعمل عدسة تعطى أكصر من صورة للجرم السمادى

خلاصة القول أن علماء الفلك قد تقبلوا الثقوب السوداء كظاهرة فلكية، كتطور طبيعى لدورة حياة النجوم فائقة الكتلة، كما أنها تلعب دوراً هامًا فى تطور أشباه النجوم والمجرات، لقد قبلوا الفكرة نتيجة الدلائل المتواترة من دراسات أشباه النجوم، والنابضات، والنظم السينية الثنائية، والمجرات ذات مراكز الطاقة النشطة. منذ ثلاثين عاما، قبل أن يكون أى من هذه الظواهر معروفًا، لم يكن أحد من علماء فيزياء الكون

يحمل الفكرة محمل الجد، وخطوة بخطوة أخذ الرياضيون يتابعون التطور منذ بداية الستينات، منقحين ومعدّلين نظرياتهم عن الثقوب السوداء، لكى يفسروا الظواهر الجديدة.

على أن ما فى جعبة أرباب النسبية إلى اليوم يمثل مصدر فزع وعدم ترحيب لدى علماء الفيزياء الفلكية مثلما كان من ثلاثين عامًا بالنسبة لفكرة الثقوب السوداء. ولكن، كما يعترف الراصدون أنفسهم، أنه فى أحلك الأيام قبل التعرف على أول شبه نجم، كان نفر قليل من علماء النسبية منكبِّين على العمل لصياغة نظرية عن الثقوب السوداء، مثل هذه الأبحاث قد أخذتهم، من الوجهة النظرية على الأقل، إلى حافة الزمن نفسه.

الفصل الخامس

ظلام عند حافة الزمن

نظريات الحافة المظلمة. كيف تعطى الفروض الرياضية تصوراً جيداً للثقوب السوداء ولوجود الكون. العام الذى فيه أعطى الثقب الأسود اسمه، وحتمية المفردات singulariti لماذا ليس للثقوب السوداء ملامح، ولكنها تحيل رجال الفضاء إلى اسباجتى. كيف تمكن هوكنج (بقليل من المساعدة) أن يعطى الثقوب السوداء حرارة. نزع القناع عن حافة الزمن .

خلال عهود الظلام بالنسبة للثقوب السوداء، فيما بين عامى ١٩٣٩ و ١٩٦٣، لم يظل من العلماء على وفائه للقضية إلا نفر قليل، وبعد عمل أوبنهايمر وسنيدر، قبيل تفجر الحرب العالمية الثانية، لم يحدث تقدم فى فهم معادلة الحالة للمادة المكتنزة إلى ١٩٥٧ ، على أنه إلى ذلك الحين كان علماء الفيزياء قد ازدادوا فهماً للقوى الداخلية للذرة، وكذلك وضعت تحت أيديهم إمكانات لم تتح لغيرهم من قبل، ألا وهى الحاسبات الإلكترونية، وبهاتين الوسيلتين أمكن لفريق علمى فى جامعة برنستون أن يجروا حسابات حول تصرف النجوم المكتنزة بتفاصيل أكثر، وكان الفريق بقيادة جون هويلر، المولود فى عام ١٩١١، وكان قد حقق وقتها شهرة كبيرة فى علم الفيزياء[١]، فهو قد عمل مع نيلز بور Niels Bohr رائد النظرية الكمية بلا منازع فى الثلاثينات، وكان فى الأربعينات مشرفاً على الأبحاث ورفيقاً لريتشارد فايمان Richard Feyman الذى يعد أعظم عالم فيزيائى فى الخمسين عاماً السابقة .

وفى باكورة عمله حول الثقوب السوداء قاد فريق عمل من الفيزيائيين والحاسوبيين لتناول أعمال تشاندراسيخار عن الأقزام البيضاء، وأعمال أبنهايمر

(١) حصل على جائزة نوبل فى الفيزياء عام ١٩٦٥ - المترجم .

وفولكوف عن النجوم النيوترونية، ووحدوا العملين فى إطار واحد، وبينوا أنه لا توجد طريقة لاستقرار نجم بارد تزيد كتلته عن حد معين[١] .

على أنه فى ذلك الوقت كان تفسير هويلر للنتائج شبيهًا بانطباع سير إدنجتون عن عمل تشاندر اسيخار منذ ربع قرن مضى ، لقد افترض أن النجوم بصورة ما سوف تفقد كتلتها ، لتتحاشى ، تخطى الحد الحرج الذى لا يجب أن تتجاوزه لبقائها ، ففى ١٩٥٨ قال فى كلمته أمام المؤتمر العلمى الذى كان يعقد فى بروكسل كل عام تحت اسم مؤتمر سولفاى :

> ليس هناك مخرج واضح إلا أن نفترض أن النيوكلونات التى توجد فى قلب كتلة مركزة تركيزًا عاليًا تتحلل إلى إشعاع ؛ سواء أكان مغناطيسيًا أم جذبيًا أم على صورة جسيمات ، أو تجمع بين تلك الطرق ، بمعدل يمنع العدد الكلى للنيوكلونات من تخطى قيمة حرجة .

والنيوكلونات هو اسم جامع لجسيمات النواة ، أى النيوترونات والبروتونات ، وعلى ذلك فإن هذه العبارة تنطبق على الأقزام البيضاء والنجوم النيوترونية معًا ، ولم يوافق أو بنهايمر على هذا الرأى ، فانبرى متسائلاً :

> أليس من الأبسط افتراض أن النجوم عندما تتخطى الحد الحرج تنهار تحت وطأة جاذبيتها ؟

ولكن هويلر لم يقتنع ، وظل على أمله فى وسيلة ما تمنع هذا المصير عن النجوم ، وبعد ١٩٥٨ كان مفهوم النجوم النيوترونية يحظى باحترام متزايد ، ولكن فكرة الثقوب السوداء لم تجذب انتباه الفيزيائيين بصورة جدية ، فى الغرب على الأقل ، إلا بعد اكتشاف أشباه النجوم ، حين أدرك الفزيوفلكيون أن الثقوب السوداء لا تتكون فقط عند كثافات فائقة ، بل يمكن أن تتكون من مواد لها كثافة الماء ، وليس ثمة عملية غريبة تخلص النجوم المهددة بالتحول لثقب أسود من مادتها الزائدة عن الحد اللازم لذلك .

(١) كان هذا بداية مراجعة الحد الذى قال به أوبنهايمر ، والذى تعدل للقيمة الحالية وهى ثلاثة أمثال كتلة الشمس .

والعجيب أن انهيار المادة كان متفهمًا فى مراجع الاتحاد السوفيتى منذ الخمسينات ، فقد قُبلت أعمال أوبنهايمر وسنيدر منذ البداية ، وبحلول الستينات كان قد تكوّن جيل كامل من الباحثين مقتنع بهذه الفكرة ، وهذا أحد الأسباب التى تفسر لماذا حين اكتشفت النوابض وأشباه النجوم كانت الآراء التى أدت إلى فهم هذه الظواهر تأتى فى البداية من الاتحاد السوفيتى ، مثل زل - دوفتش . على أنه قبل اكتشاف أشباه النجوم ، كان هناك تطور أخير فى المواجهة الرياضية التى قدر لها أن تكون ذات أثر بالغ على أبحاث الثقوب السوداء ، لا يزال أثره يتردد إلى اليوم .

خرائط جديدة للفضاء والزمن :

لقد ساهم هذا التطور في حل لغز حير الأذهان منذ جاء شفارتزشلد بحله لمعادلة آينشتاين عام ١٩١٦ ، ما هو المضمون الفيزيائى لأفق شفارتزشلد حول الثقب الأسود، للوهلة الأولى ، خُيِّل لعديد من الباحثين أنه حد حقيقى ملموس ، يمثل حداً للفضاء ، فقبل كل شيء سوف يتزايد بطء الزمن مع الاقتراب من ذلك الأفق ، بحيث يتوقف أمامه تماماً ، معنى ذلك أن الاقتراب من أفق الثقب الأسود يتطلب زمناً لا نهائيًا ، فلا يمكن بالتالى لجسم أن يعبره .

أو لننظر للأمر بصورة أخرى ؛ إن سرعة الهروب من ذلك الأفق هى سرعة الضوء ، ويعنى ذلك ، بالنظر للمعادلة من الوجهة الأخرى ، أن أى جسم يسقط إلى هذا الأفق من مسافة بعيدة سوف تصل سرعته إلى سرعة الضوء حين يصل إليه ، ومع ذلك فإن التسارع يظل يدفعه لزيادة السرعة ، وحيث إنه من المستحيل أن يتجاوز جسم سرعة الضوء ، فإن ذلك يعنى أن الأجسام تظل تحوم حول الثقب دون أن تتمكن من اختراقه ، بالضبط كما توجد مفردة (نقطة تفرد) فى قلب الثقب الأسود ، وهى منقطة ذات كثافة لا نهائية ، يبدو أنه توجد منطقة تفرد حقيقية حول أفق شفارتزشلد .

ولكن هذا التحليل برمته هو من وجهة نظر مراقب يجلس خارج الثقب ، يراقب الأشياء وهى تهبط إليه ، أما بالنسبة للشخص الهابط ، فإنه لا يرى شيئًا غير عادى عند ذلك الأفق ! فالمعادلة تدلنا على أنه طبقًا لساعة هذا الهابط فإن الوقت المقطوع للسقوط فى الثقب قصير للغاية ، فقط حين يعبر رائد الفضاء هذا الأفق يدرك أنه لن يتاح له أن يرتد للكون ، وأن مصيره للاستمرار فى السقوط للمفردة أمر لا محالة منه .

وبحلول الثلاثينات أدرك الفيزيائيون النسبويون أن سطح شفارتزشلد لا يمثل مفردة حقيقية بالمرة ، فهو يبدو على هذه الصورة فى حله لمعادلة آينشتاين لأنه اختار هذه الصورة كدالة مسافية ، فالمفردة هى نتاج نظام للإحداثيات من صنع الإنسان يستخدم لقياس الزمكان حول الثقب الأسود ، كما ينتج نظام خطوط الطول والعرض الذى يحدد المكان على سطح الأرض نقاط تفرد عند القطبين ، وليس عندهما أى شىء حقيقى يُظهر أى شذوذ .

فلو أنك قمت برحلة إلى الشمال ، فسوف تنتهى حتمًا إلى القطب الشمالى ، وهى النقطة التى لا شمال بعدها ، ولو واصلت رحلتك فى نفس الاتجاه لوجدت نفسك ، طبقًا لاصطلاحنا عن الاتجاهات ، تتجه نحو الجنوب ، ولكنك لا تشعر بأن شيئًا شاذًا قد حدث لك . نفس الأمر ينطبق على عبور أفق الثقب الأسود(١)، إنك تجد نفسك سائرًا فى طريقك نحو مركز الثقب، وليس شيئًا غير عادى قد حدث لك، ولكن قواعد تحديد الزمن والمكان طبقًا لنظرية آينشتاين قد انعكسا. فخارج الأفق يكون المسافر حرًا (فى حدود معينة) فى التحرك فى المكان، ولكنه بلا جدال محكوم بحركة الزمن فى اتجاه واحد؛ من الماضى إلى المستقبل بمعدل ستين دقيقة كل ساعة، وبمجرد اجتياز الأفق والدخول فى الثقب يكون المسافر حرًا أن يتجول فى الزمن، ولكنه محكوم بالسير فضائيا فى اتجاه واحد؛ تجاه مركز الثقب .

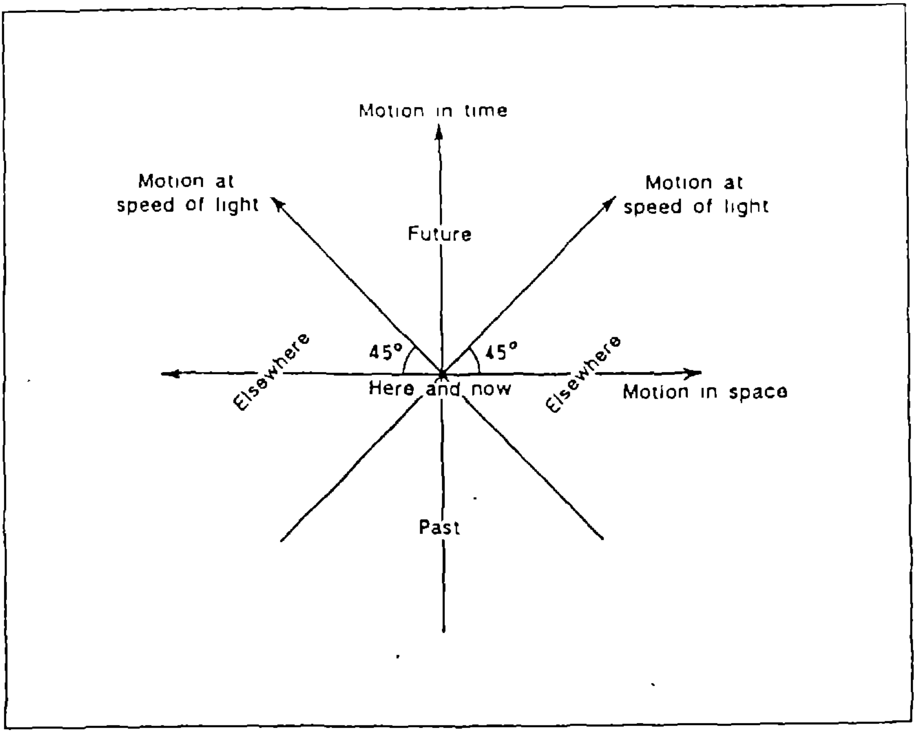
إن الرياضيات هى ما يتأثر عند سطح شفارتزشلد وليست الطبيعة الفيزيائية. وعلى ذلك فكل ما يحتاجه النسبوى هو رياضيات أفضل لوصف ما يحدث، ولكنه أمر أسهل فى القول عنه فى التنفيذ، خاصة آنذاك. لقد اتضح أن شفارتزشلد لم يصل إلى حل واحد لنظرية آينشتاين، بل إلى حلين، شىء يشابه الحل الموجب والحل السالب للجذر التربيعى. فالنظريات التى تصف الانهيار النهائى لجسم يقتحم الثقب الأسود تصف أيضًا، كحل بديل، ما يحدث لجسم يخرج من الثقب الأسود (يطلق عليه أحيانا فى هذه الحالة الثقب الأبيض). يشبه ذلك ما وصل إليه آينشتاين بالنسبة للكون، أحد حلين، إما أن يكون فى حالة تمدد أو انكماش، لكن من المستحيل أن يكون فى حالة ثبات. وعلى ذلك فإن تمدد الكون هو أحد حلين، بالضبط كما أن الثقب الأسود هو أحد حلين .

(١) الاسم الشائع له «أفق الأحداث events horizon» – المترجم

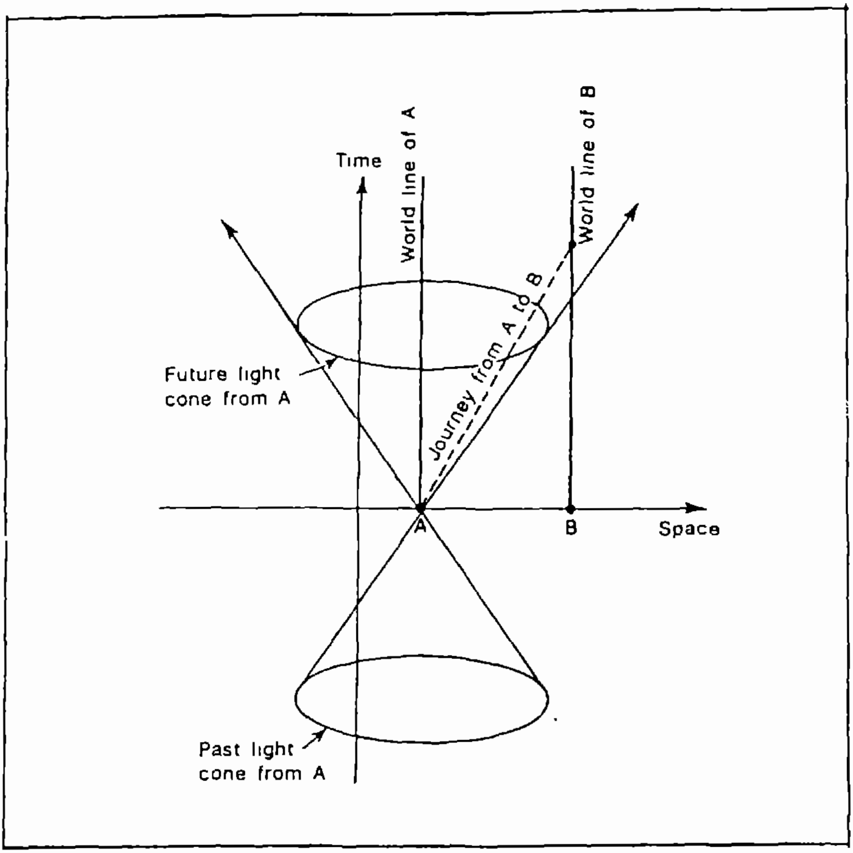
وقد وُضِعت فى الخمسينات وسيلة لحل الموضوع على أساس فيزيائى، مع نظام إحداثيات يُيسر علينا متابعة ما يجرى، واكتمل هذا العمل فى الستينات، وكان من اتخذ الخطوة الأولى فى هذا الطريق هو مارتين كرسكال Martin Kruskal رفيق هويلر فى برنستون. كان كرسكال متخصصًا فى البلازما، ولكنه كوّن فريقًا مع زملائه تدارسوا النسبية فيما بينهم بصورة أقرب ما تكون للهواية، وقد توصل كرسكال إلى نظام إحداثيات يمكن في إطاره أن توصف الثقوب السوداء عن طريق معادلات سلسة، يتصل فيها الفضاء المسطّح على البعد السحيق منه بالفضاء المنحنى بعنف داخله دون أية إشارة لنقطة تفرد (من وجهة نظر معينة يصف هذا النظام الإحداثى الأشياء من وجهة نظر شعاع ضوء مخترق للثقب)، ولكنه حين أطلع هيولر على هذا النظام، لسنوات قبل أن يقوم الأخير بأبحاثه عن النجوم المكتنزة مع هاريسون وواكانو، لم يبد له اهتماما، فصرف كرسكال عنه النظر ولم يعن بنشره. وفى عام ١٩٥٨ تحقق هيولر من أهمية بحث كرسكال، وتولى ترويجه فى الأوساط العلمية، على أن كرسكال الذى كان قد انغمس فى دراسات أخرى كان قد فقد الاهتمام بالأمر، ولم يقم بنشره رسميا. وأخيرًا قام هويلر بذلك نيابة عنه عام ١٩٦٠ وبعد حين قام روجر بنروز من جامعة أكسفورد بإدخال التعديلات على تمثيل كرسكال لنسيج الكون والزمن مصحوبًا بالثقوب السوداء. فبالنسبة للرياضيين فإن "مترى" كرسكال هو مفتاح فهم الثقوب السوداء، أما بالنسبة للفيزيائيين فإن الرؤية الأساسية تنبع من تمثيل تصويرى، يعرف بشكل بنروز .

ينبع ذلك التمثيل التصويرى فى الواقع من رؤية منكوفسكى التى قادت إلى وصف الزمكان المسطح بواسطة أربعة أبعاد، ولكوننا لا يمكننا أن نرسم فى الأبعاد الأربعة، وحيث إن كل بعد من أبعاد الفراغ الثلاثة يتصرف مثل زميليه الآخرين، فإن دارسى النسبية درجوا على تبسيط الفضاء إلى بعد واحد هو البعد الأفقى، واعتبار البعد الزمنى هو البعد الرأسى، ومن ثم يمكنهم أن يصوروا الزمكان كمسطح ثنائى الأبعاد. ويبين شكل (٥-١) هذا التمثيل المبسط لشكل الزمكان (أو شكل منكوفسكى)، هذا الشكل متقدم بدرجة بسيطة عن شكل ٤-٢، وباختيار وحدة البعد الزمنى فيه سنة واحدة، ووحدة البعد الفراغى سنة ضوئية، فإن شعاع الضوء المنطلق من النقطة «أ» يمثل بخط يميل بزاوية ٤٥ درجة. فإذا ما تخيلنا مراقبًا جالسًا فى حالة سكون عند هذه النقطة، فإن خطه الكونى سوف يكون مستقيمًا عموديًا هو محور الزمن (المحور الرأسى)، وبنفس الطريقة فإن مراقبًا جالسًا فى سكون عند النقطة «ب» يكون خطه الكونى خطًا رأسيًا موازيًا لمحور الزمن، حيث إن المسافة تكون ثابتة لا تتغير .

فإذا ما تحرك مراقب آخر منطلقا من النقطة «أ» ، فإن خطه الكونى يمثل بخط مائل، وكلما زادت سرعته زادت زاوية الميل على المحور الرأسى، ولكنها لا يمكن أن تتجاوز الخط الممثل لشعاع الضوء، إذ لا يمكن لسرعته أن تتجاوز سرعة الضوء، لهذا السبب ينقسم الشكل إلى مناطق متاحة (المعرفة بالكلمتين «المستقبل» و«الماضى») وأخرى غير متاحة (معرفة بعبارة «منطقة غير متاحة») .



(شكل ٥-١) شكل متقدم نوعًا ما عن (شكل ٢-٤) ، وهو يربط موضع الأحداث فى الزمكان بسرعة الضوء. من نقطة «هنا والآن» يمكن للمرء أن يسافر إلى أى مكان فى المستقبل، ويحصل على معلومات من أى مكان فى الماضى، ولكن يستحيل زيارة أو معرفة أية معلومات عن المنطقة المسماة «منطقة غير متاحة» .

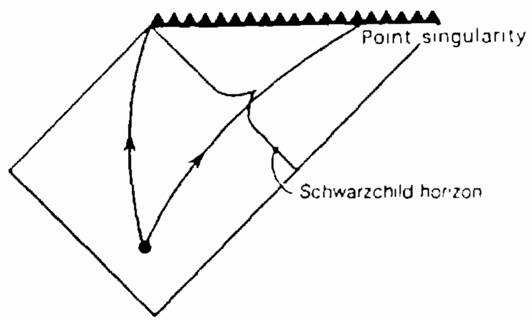


(شكل ٥-٢) من الأفضل في الواقع أن ننظر لمناطق الفضاء والزمن الممكن الوصول إليها من النقطة «هنا والآن» بمعرفة المخروط الضوئى للمستقبل والماضى. من النقطة «أ»، لا يمكن لمراقب أن يعرف أى شىء عن النقطة «ب» إلا عندما تدخل فى مخروط بعد حين من الزمن ترتفع خلاله على خطها الكونى .

ويمثل (الشكل ٥-٢) نفس الفكرة بتوسع أكبر، أى على المستوى الفراغى بدلاً من المستوى ثنائى البعدين، فى هذه الحالة تكون المنطقة المتاحة هى فى الواقع المخروطان المكونان من دوران المثلثين المحدودين بشعاعى الضوء حول المحور الرأسى، الأعلى منهما يمثل «المخروط الضوئى للمستقبل» «والأسفل المخروط الضوئى للماضى»، إن الحوادث التى تقع خارج هذين المخروطين لا يمكن أن تؤثر فى، أو تتأثر بما يجرى فيهما، إن الزمكان منقسم لا محالة بالنسبة لكل نقطة من نقاطه إلى مستقبل، وماض، ومنطقة غير متاحة .

وفى شكل بنروز، يمثل الزمكان بكل اتساعه (إلى مالا نهاية) خارج الثقب الأسود فى شكل منكوفسكى بمعين هندسى، حتى يمكن أن تضمه صفحة واحدة. ويماثل ذلك رسم سطح الأرض على خريطة مسطحة فى صفحة واحدة، بواسطة إسقاط مركاتور(١) المعروف فى رسم الخرائط، ورغم أن هذه الطريقة، مثلها فى ذلك مثل إسقاط مركاتور، تشوه النسب بين المساحات (فيمكن مثلا أن تكون مساحة الزمكان داخل الثقب الأسود معادلة لبقية الكون) ، إلا أن المهم فيها معرفة العلاقات بين أجزاء الزمكان ، ما هو متاح وما هو غير متاح بالنسبة لنقطة معينة، مع مراعاة عدم تجاوز سرعة الضوء .

ويبين (شكل ٥-٣) هذه الفكرة، فالكون بأكمله خارج الثقب الأسود ممثل بالشكل المعين، والذى يمثل ضلعه ذو النتوء أفق شفارتزشلد. ويعبر النتوء عن رأس سهم يشير إلى أنه بعد ذلك الأفق لا بد من السير إلى اتجاه المفردة، وهى ممثلة بخط ذى نتوءات من المثلثات السوداء تغطى كل فضاء الثقب فى لحظة ما، إنها تمثل حافة الزمن! فمن اليسير أن نرى أنه لكى نرتد خارجين من مثلث الثقب الأسود إلى شكل المعين الذى يمثل بقية الكون علينا أن نصنع زاوية مع المحور الرأسى تزيد عن ٤٥ درجة، وهو أمر مستحيل كما قدمنا، لأنه يقابل التحرك بسرعة أكبر من سرعة الضوء .

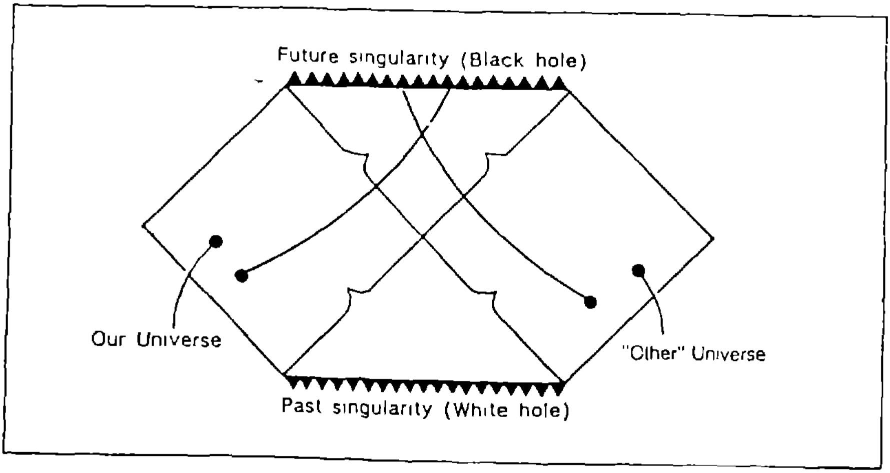


شكل (٥-٣) خريطة للزمكان بأكمله ممثل بالشكل المعين، والثقب الأسود بمثلث محدد بخط مميز بالنتوءات يمثل المفردة، كالمعتاد، يمثل السير فى اتجاه المستقبل بخط متجه لأعلى، والتحرك بسرعة الضوء بخط مائل بزاوية ٥٤ درجة عند أية نقطة. ويعبر رأس السهم فى الضلع المشترك بين المعين والمثلث عن استحالة الارتداد خروجاً من الثقب الأسود .

(١) إسقاط يستخدم فى رسم الخرائط تكون خطوط الطول والعرض فيه خطوطًا رأسية متعامدة ، وهو مفيد فى الأعمال الملاحية ، وإن كان لا يحافظ على نسب المساحات - المترجم .

على أن هذا يمثل فقط نصف القصة، فأين ما قلناه عن الحل الآخر من المعادلة، ونعنى به حل الثقب الأبيض؟ يبين ذلك (شكل ٥-٤) والذى يعتبر الحل الرسومى الكامل لثقب شفارتزشلد، (متضمنا الكون الآخر!)، يبدو فى هذا الشكل الثقب الأبيض فى حيز الماضى، يمكن منه أن تبعث أشياء لمستقبل أى من الكونين، ولكن أيا من الأشياء فيهما لا يمكن لها أن تلج إليه. ويشترك الكونان فى نفس مفردة الثقب الأسود فى حيز المستقبل، من المستحيل تماماً أن يجتاز مسافرٌ الحدود بين الكونين، إذ يقتضى ذلك إما السفر فى الماضى، أو السفر بأسرع من سرعة الضوء. ولكن اثنين من المسافرين، واحد من كل كون، يمكن أن يتقابلا لفترة ما داخل الثقب الأسود، يتبادلان فيها المعلومات عن رحلتهما الانتحارية، قبل أن يفنيا سوياً فى مفردته .

فلو أن مصير كوننا الذى ولد لحظة الانفجار العظيم أن يفنى فى مفردة ثقب أسود (وهو احتمال له وجاهة شديدة قدمت إليه فى كتابى «البحث عن الانفجار العظيم In Search of the Big Bang») فإن شكل بنروز يكون تصويراً لدورة حياة كوننا بأكمله ، ويقتضى ذلك أن تؤخذ فكرة الكون الآخر بكل جدية ، حتى ولو كان الاتصال بين الكونين مستحيلاً تماماً من ناحية المبدأ .



(شكل ٥-٤) يتطلب التصوير الكامل لاتصال الثقب الأسود بالكون وجود كون آخر، ومفردة أخرى فى حيز الماضى لما يسمى «الثقب الأبيض»، ولكن الاتصال بين الكونين محال لأنه يعنى إما السفر فى الماضى أو السفر بأسرع من سرعة الضوء .

هذا عن ثقب أسود بسيط غير دوّار، وهو حل شفارتزشلد لمعادلة آينشتاين، ومن ثم سمى ثقب شفارتزشلد الأسود، ولكن الواقع العملى يبين أن الثقوب السوداء تدور حول نفسها (ومنها ما يدور بأسرع مما تفعل النجوم النابضات)، وسوف نعالج ذلك فى الفصل القادم. وفى البقية الباقية من هذا الفصل سوف أعرض لطريقة تفاعل الثقب الأسود، دوارا وغير دوار، مع الكون بأسره .

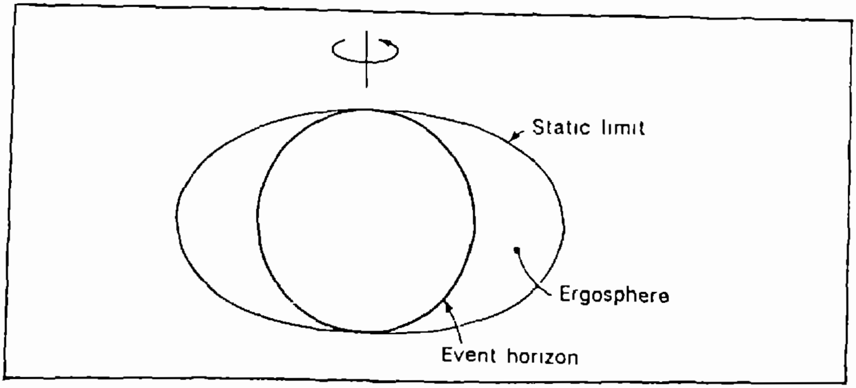
الثقوب السوداء الدوّارة :

تفجرت الحمية لدراسة الثقوب السوداء بعد عام ١٩٦٣ (متضمنا ذلك وضع بنروز للشكل الذى أصبح يعرف باسمه) بسبب أمرين؛ اكتشاف النجوم النابضات، واكتشاف حل آينشتاين الذى يصف الثقوب السوداء الدوارة حول نفسها، وقبل أن نعرض لشكل بنروز الخاص بهذه الوحوش الجبارة، يجدر بنا أن نلقى نظرة على طبيعتها، وكيف أنها لا تحمل أفقًا واحدًا للأحداث، بل أفقين، وفيها لا تكون المفردة مجرد نقطة، بل حلقة .

وفى حين وضع شفارتزشلد حله المتضمن الثقب الأسود الساكن متعاصراً مع وضع آينشتاين لمعادلته، عام ١٩١٦، تطلب الأمر ٤٧ عامًا قبل أن يضع أحد الحل الذى يتضمن الثقب الأسود الدوار، إن فى هذا دلالة على مدى تعقد معادلة النظرية النسبية العامة، لدرجة أن الرياضيين لم يشعروا حتى هذه اللحظة بالرضا الكامل عن سبر غورها تمامًا، وليس من المستبعد أن يحمل المستقبل المزيد من الحلول، مع المزيد من المفاجآت .

إن مكمن الصعوبة فى لغز الثقب الأسود الدوار، والذى وجد حله على يد روى كِر Roy Kerr، عالم من نيوزيلندا يعمل بجامعة تكساس، هو أن هذا الثقب يجر الزمكان معه أثناء دورانه. لقد كانت هذه الحقيقة معروفة منذ بعيد، ولكن أحدا قبل كِر لم يكن يعرف تمامًا آثار هذه الظاهرة، كما تطلب الأمر اثنتى عشرة سنة قبل أن يُثبَت أن حل كِر هو الحل الوحيد لهذه الظاهرة، بالضبط كما لم يثبت أن حل شفارتزشلد هو الحل الوحيد الخاص بالثقوب السوداء الساكنة غير المشحونة كهربيًا إلا عام ١٩٦٧ (على يد فرنر إسرائيل). إن حل شفارتزشلد هو فى الواقع حل خاص من حل كر، يكون الدوران فيه صفرا .

فلو قدر لك أن تقع فى ثقب أسود دوار من ناحية أحد قطبيه، فلن يُتاح لك أن تحس بأثر دورانه، أما الاقتراب منه من ناحية خط الاستواء فسوف يضيف إلى قوة جذبه تدويرا فى نفس اتجاه دورانه. قد تفلح بواسطة صواريخ دفع مركبتك أن تقاوم قوة الجذب، ولكنك ستكون عاجزًا تمامًا، ومهما بلغت قوة صواريخك، من مقاومة التدوير. وتعرف المسافة التى يظهر فيها هذا الأثر بالحد الاستاتيكى static limit، وهى تبلغ أقصى مداها عند خط الاستواء، فتراها تحيط بالثقب الأسود على شكل فطيرة منبعجة عند الوسط، كما هو مبين فى (شكل ٥-٥) وتسمى المنطقة المنحصرة بين الحد الاستاتيكى وأفق أحداث الثقب «كرة الطاقة ergosphere» (الأصل للمصطلح اللاتينى هو كلمة ergo ، بمعنى «الشغل الميكانيكى»[١]) وذلك بسبب خاصية مثيرة اكتشفها بنروز.



(شكل ٥-٥) يقوم الثقب الأسود الدوار بجر الزمكان حوله وتسمى المنطقة المتأثرة بهذا الدوران كرة الطاقة حيث بين بنروز أنه يمكن توليد الطاقة منها .

كان بنروز أحد اللاعبين الرئيسيين فى لعبة الثقوب السوداء منذ مطلع الستينات. وقد ولد عام ١٩٣١، وحصل على درجة الدكتوراه من جامعة كمبردج عام ١٩٥٧ قضى بعدها تسع سنوات فى التدريس فى لندن وكامبردج وبرنستون وسيراقوزة وتكساس قبل أن يستقر فى كلية بِركْبِك Birkbeck فى لندن، وفى ١٩٧٣ تحول إلى أوكسفورد

(١) من الممكن على ذلك تسميتها «كرة الشغل الميكانيكى» ولكنا نرى أن المصطلح المقترح فى المتن أفضل من المقابل الحرفى ، ويفى بنفس الغرض تماماً - المترجم .

كأستاذ للرياضيات، تتجاوز اهتماماته بكثير الثقوب السوداء التى هو مشهور بها (البعض من هذه الاهتمامات مذكور فى كتابه الشهير «أباطرة العقل الحديث The Empror's New Mind») . وقد تولدت رؤيته الخاصة عن الثقوب السوداء الدوارة عام ١٩٦٩، حينما بين كيف يمكن لهذه الأشياء أن تستغل كمصدر للطاقة .

فى هذا الوقت كان الباحثون من أمثال بنروز يستخدمون مصطلح الثقوب السوداء بصورة مستقرة، وكان أول من استخدم هذا المصطلح كتعبير عن النجوم المنهارة هو جون هويلر عام ١٩٦٧، فى البداية مع زملائه بصورة غير رسمية، ثم أعلنه على الملأ فى اجتماع عقد بالجمعية الأمريكية للعلوم المتقدمة بنيويورك فى ٢٩ ديسمبر من نفس العام. وفى الشهر التالى ظهر فى مجلة American Scientist، وبعدها كتب له الذيوع مفضلاً على مصطلحات أخرى مثل «النجوم المتجمدة frozen stars» و «المنهارات (على غرار النابضات) colapsars يقول هويلر فى كتابه "رحلة فى داخل الجاذبية والزمكان A Journey into Gravity and Spacetime» : «كان تقديم مصطلح الثقوب السوداء شيئاً غير ذى بال كمصطلح جديد، ولكن كان له وقع نفسى هام، فبعده أصبح الفلكيون والفيزيو – فلكيون أكثر تقبلا لفكرة أنها ليست محض خيال، ولكنها أجرام سماوية تستحق بذل الجهد والمال فى البحث عنها» .

ولم يكن بنروز من بين هؤلاء، لقد كان مفتوناً بالفعل بهذه الأجرام، وليس بحاجة إلى تحفيز جديد لدراستها، وهو يقول إن فكرة استخلاص الطاقة من الثقب الأسود قد واتته بينما هو مستقل القطار فى طريقه للقاء طلبته فى لندن، منهمكا فى التفكير عن شىء جديد يقوله عن هذه الأجرام. فى عملية بنروز يسقط جسم داخل كرة الطاقة، حيث ينقسم إلى قسمين، يتجه أحدهما إلى أفق الأحداث، ولكن فى اتجاه ضد حركة دوران الثقب، الجزء الثانى يتجه بعيداً عن كرة الطاقة، وتكون حركة دورانه مع الثقب، ولكن بسرعة أكبر مما كان للجسم الأصلى، ذلك لأنه قد تلقى دفعة من جذب الثقب للفضاء المحيط به. ويمكن تصور تلك الدفعة على الجزء الثانى بأنه رد فعل من الجزء الأول، ذلك الذى اندفع إلى داخل الثقب، مثلما يتلقى كتف ضارب النار دفعة مضادة بعد إطلاقه القذيفة .

وبتقدير دقيق للأمور؛ مسار الجسم الساقط فى الثقب، وزمن الانقسام، فإن الجزء المبتعد عن كرة الطاقة سيحمل طاقة فائضة، اكتسبها من دوران الثقب، فى نفس

الوقت سوف تقل سرعة دوران الثقب شيئًا طفيفًا بسبب هذه الطاقة المسروقة منه، والتى تعتبر بمثابة ثمن للجزء الذى ابتلعه من المادة، والواقع إن كتلة الثقب ذاتها تقل شيئًا طفيفًا، إذ تحول جزء منها إلى طاقة اقتنصها الجزء المبتعد .

يمكن تفسير ذلك على ضوء طاقة الحركة لجسم داخل كرة الطاقة، فبالنسبة لجسم ثابت فى الفضاء خارج الأرض أو الشمس (ربما عن طريق صواريخ دفع تثبته فى الفضاء)، تكون طاقة حركته صفراً، هذا ما تقول بـه الحقيقة البديهية . ولكـن، كن حذراً عند تطبيق البديهيات فيما يتعلق بالثقب الأسود، ففى كرة الطاقة يجب على الجسم أن يدور فى اتجاه مضاد لدوران الفضاء حول الثقب بسرعة معينة، حتى يمكنه أن يثبت وتكون طاقة حركته صفرا، فإذا ما دار الجسم بأكبر من تلك السرعة، فإنه لن يكتسب طاقة حركة من تحركه، بل سيفقد مثل هذه الطاقة، أو لنقل إنه يكتسب فى هذه الحالة طاقة حركة سالبة! هذه الإضافة للطاقة السالبة (والتى تعادل نقص الطاقة الموجبة) هى ما تجعل الثقب يفقد قدراً من كتلته، حيث إن مجموع الطاقة مع الكتلة يجب أن يظل ثابتًا. ولا ننس أن الجزء المفقود من الطاقة يتعادل مع الجزء المقتنص منها بواسطة الجسم المبتعد عن الثقب .

وفى نفس الوقت فقد اتضح أنه مهما أضيف من كتلة للثقب الأسود فإن مجموع الكتلة مع عزم الدوران (مقدار مرتبط بسرعة دورانه) يظل أيضًا ثابتًا، هذه الظاهرة تعتبر من أهم الاكتشافات عن الثقوب السوداء. جاء هذا الكشف عام ١٩٧٠ على يد باحث من برنستون ، يدعى ديمتريوس كرستودولوس Demetrios Christodoulou ، وقد توصل إليه بمتابعة فكرة استغلال الطاقة من الثقب الأسود التى قال بها بنروز، وعلى نفس الدرب جاءت فكرة لا تقل أهمية عن الثقوب السوداء، وهى مساحة أفق الأحداث لا يمكن أن تتناقص، فهى إما أن تزيد أو تظل ثابتة. وينسب الفضل فى هذا الكشف الذى جاء فى السبعينات إلى ستيفن هوكنج، وسوف نعرض له فيما بعد .

وليست طريقة بنروز فى استخلاص الطاقة بالتى تفيد البشر حاليًا، حتى لو تمكنا من العثور على ثقب أسود دوَّار، ولكنها على الأقل قد تعطى وسيلة لتعليل انفجارات الطاقة الهائلة من أشباه النجوم، ولكنى لا أستطيع أن أقاوم إغراء الإشارة لتنبؤ آخر لا يقل غرابة، وإن كان غير عملى، عن إمكانية استغلال طاقة الثقب الأسود الدوار فى تكبير الضوء، بما يحوله إلى قنبلة لثقب أسود، ففى بداية السبعينات بيَّن بعض الفيزيائيين أن نفس الظاهرة التى قال بها بنروز عن طاقة الثقب الأسود يمكن أن تؤثر على طاقة شعاع الضوء الذى يخترق كرة الطاقة، وأطلقوا على هذه العملية "التشتت

فائق الإشعاع superradiant scattering . فلو تخيلنا أن الثقب الأسود قد أحيط بكرة سطحها الداخلي عبارة عن مرآة، وبها ثقب صغير مرر منه شعاع ضوء ضئيل للغاية، فإنه عند اختراقه كرة الطاقة سوف يُكبَّر، ثم ينعكس على سطح المرآة فيُكَبَّر مرة أخرى، وهكذا يزداد قوة مع كل ارتداد، فإذا كان ثقب الكرة المرآوية لا يزال مفتوحًا، فإن الشعاع سوف يخرج منها مكبّرا عدة مرات. ولكن لو تخيلنا أنه قد أغلق، فإن عملية التكبير سوف تتصاعد إلى أن تنفجر تلك الكرة على شكل قنبلة، صنعها الثقب الأسود .

وإذا ما كانت هذه التخيُّلات مثيرة للدهشة، فإن الأكثر إدهاشًا هو ما يحدث داخل أفق الأحداث، فما المقصود بالمفردة حقا؟ هل هذه الأشياء الغامضة ضرورة حتمية، حتى مع اختبائها داخل أفق الأحداث؟ وهل ثمة احتمال أن توجد دون الاختباء تحت عباءة هذا الأفق، فتتعامل مباشرة مع الكون الرحيب؟ لقد وجه بنروز اهتمامه إلى هذه التساؤلات قبل أن يفكر في مسألة طاقة الثقب الأسود، بادئا بموضوع حتمية المفردة لنظرية النسبية العامة .

قاعدة المفردات :

إذا تصورت أن الثقب الأسود هو نتيجة انهيار نجم في نهاية حياته، تبلغ كثافة المادة فيه أكبر من كثافتها داخل نواة الذرة، فإن فكرة تكون المفردة في قلبه لن تكون بمثابة شطحة من خيال، حتى وإن وجدها إيدنجتون مفزعة، واستغرق هويلر عدة أعوام محاولاً تحاشيها. فطالما أننا نتعامل مع أمور غير مألوفة لنا على سطح الأرض، يجب ألا ندهش حين تتنبأ المعادلات بظواهر غريبة وشاذة، ولكن حين نتحدث عن ثقب أسود في حجم النظام الشمسي، تبلغ كتلته عدة ملايين من الشموس مثل شمسنا، ولكن كثافة المادة فيه أقل قليلاً من كثافة الماء، فإن فكرة وجود المفردة في قلبه تثير التساؤل. هل يمكن لكرة من الماء – بصرف النظر عن كمية هذا الماء – أن تضم مفردة في داخلها؟ لو أن لدينا كرة ضخمة من الماء طافية في الفضاء، أقل قليلاً من أن تكون ثقبًا أسودًا، ثم أضفت إليها عدة قطرات من الماء لكي تصل للحد المطلوب، فهل يتصور أن تتكون المفردة لمجرد إضافة هذه القطرات ؟

يبدو الافتراض غير معقول ، ولكن تذكر أن كون الكثافة المتوسطة قريبة من الماء لا يعني أن الكرة مكونة فعلاً من الماء، فكتلة تبلغ عدة ملايين من الشموس في حيز لا يزيد عن نظامنا الشمسي سوف تنهار سريعًا تحت وطأة جاذبيتها، بصرف النظر عن

المادة التى هى مكونة منها. إن ما تقوله لنا المعادلة هو أن الثقب الأسود مكونً من أفق الأحداث، ومفردة، ولا شىء البتة بينهما. من الخارج، يمكن للمراقب أن يقيس كتلة الثقب من قوة جذبه، وسرعة دورانه، وشحنته إن كان مشحونًا، وهذا كل ما فى الأمر. ليس ثمة طريقة لمعرفة ما كانت عليه المادة التى ابتلعها الثقب قبل أن تدخل أفق الأحداث، أو التمييز بين ثقب مكوَّن من مادة نجمية وبين المكوَّن من أى شىء آخر، وقد عبَّر علماء النسبية عن هذه الحقيقة بعبارة أن «الثقب الأسود ليس له ملامح»(١)، والتى أطلقها هويلر وكب ثورن فى بداية السبعينات .

ولكن لدينا ما يُميز ثقبًا أسودًا مكتنزًا عن آخر ضخم الكتلة قليل الكثافة، على الأقل من وجهة نظر مراقب من الخارج، وأوضح مثال فى ذلك هو مصير مسافر جسور يغامر بالاقتراب من أفق الأحداث أو حتى اجتيازه. لقد تحدثنا إلى الآن بسرعة عن شخص يقوم بمثل هذه الرحلة، وما يمكن أن يراه خلالها، دون ذكر ما يمكن أن يحدث له بسبب الجاذبية والقوى المدِّية(٢) itdal forces التى يصادفها . فالمسافر الذى يسقط حرًا بقدميه تجاه الثقب، لن يشعر بطبيعة الحال بأى وزن، ولكن لأن قدميه أقرب من رأسه للثقب فإنها سوف تكون تحت وطأة جذب أكبر، فيعانى من مط فى اتجاه مركز الثقب. ومن جهة أخرى، فلأن كل شىء يجذب لنقطة معينة، فإن الهابط سوف يتلوى حول نفسه، هذا المط مع التلوى (يسمى ذلك بعملية «المكرنة الاسباجتية spaghettfied» يشبه ما يحدث للمياه على سطح الأرض من اضطراب نتيجة قوى المدية (المد والجزر) بفعل جاذبية القمر أو الشمس .

بالنسبة لثقب أسود يزيد عن كتلة الشمس قليلا تكون القوى المدية متطرفة للغاية، ولثقب أسود بكتلة عشرة أضعاف كتلة الشمس (وعلى ذلك بقطر شفارتزشلد لا يزيد عن ٣٠ كيلو مترًا) تكون القوى المدية عشرة أضعاف ما على سطح الأرض، وسوف يصادف المسافر هذا التأثير وهو على بعد ٣٠٠٠ كيلو مترًا من الثقب، وقد لا يكون قد انتبه بعد لتمييزه بين نجوم السماء. فقبل أن يكون هذا المسافر سئ الحظ قد اقترب من الثقب بدرجة كبيرة، يكون قد عانى من عملية المكرنة المذكورة آنفا بحيث لن يكون فى حالة تسمح له بمعرفة ما يحدث بعد ذلك .

(١) المقابل الوارد فى المتن لهذا التعبير هو A black hole has no hair – المترجم .
(٢) القوى الناشئة عن جذب جرم سماوى لما حوله ، تشبيها بقوة المد التى يمارسها القمر أو الشمس على المياه فى الأرض – المترجم .

ولكن بالنسبة للثقوب هائلة الكتلة قليلة الكثافة فإن الأمر يختلف، لن يعانى المسافر عند اقترابه من أفق الأحداث أكثر مما يعانيه مسافر عند الإقلاع فى طائرة، يمكن للمسافر الجسور فى هذه الحالة أن يظل على قيد الحياة ليدرس ما بداخل الثقب، ولكن ذلك لن يكون سوى مضيعة للوقت، إذ إنه فى خلال عدة دقائق سيكون غائصًا فى المفردة، ومن ثم يتعرض لنفس عملية المكرنة، ولكن داخل الأفق هذه المرة وليس خارجه، على الأقل سوف يعانى من ذلك لو أن بداخل الثقب مفردة حقا، فهل نحن متأكدون من ذلك ؟

فى الواقع نحن متأكدون، لقد أثبت بنـروز ذلك، ونشر إثباته في وقت يعود لعام ١٩٦٥، وذلك بحساب الطريقة التى تشوه بها الجاذبية داخل الثقب مخروط الضوء لأية نقطة فيه، فبالنسبة لثقب هائل الكتلة مكون من مادة متماثلة فى كافة الاتجاهات، فإن الموقف ليس إلا انهيارًا نجميًا ولكن على درجة أشد، ويمكن اعتبار تكوُّن المفردة أمرًا منطقيًا. ولكن بنروز أراد أن يبحث إذا كانت المفردة واجبة التكون لو أن السحابة التى تكوَّن منها الثقب الأسود فائق الكتلة لم تكن على شكل كرة متماثلة. لنفرض أن الثقب قد تكوَّن بالفعل من مائة مليون من الأجرام التى تعادل الشمس فى كتلتها، تساقطت معًا بطريقة معقدة ومشوشة، هل هناك احتمال أن تغوص الجزيئات التى تتكون منها هذه الأجرام إلى قلب السحابة دون أن تتصادم، ثم تندفع بعيدًا عنه كما يقترب المذنب من الشمس ثم يبتعد عنها؟ في هذه الحالة سوف تكون الكثافة عند القلب عالية جدًا، ولكنها لن تصل إلى مالا نهاية .

تصوُّر معقول، ولكن بحث حالة مخروط الضوء داخل الثقب بدده سدى. فمخروط الضوء الذى سبق لى أن شرحته والذى له جوانب مستقيمة يختص بالفضاء المسطح، ولكنا نعرف من أعمال أينشتاين أن الجاذبية تحنى الفضاء بحيث يأخذ الضوء خطًا يمثل الجيوديسى للفضاء المنحنى، فأشعة الضوء الصادرة من نقطة ما سوف تنتشر متباعدة، ولكن الانحناء سوف يعمل كعدسة تجعلها تتقارب مرة أخرى، وإذا كانت الجاذبية بالقدر الكافى، فإن الأشعة سوف تتجمع فى نقطة، سوف يحدث ذلك لأية نقطة داخل الثقب، أمر محتَّم، وإلا تمكن الضوء من الفرار من الثقب. ولقد بين بنروز أن الحالة ما دامت كذلك، فإن النظرية النسبية العامة تُحتِّم وجود نقطة تفرد داخل الثقب، وليس من المحتَّم أن تكون من نفس المفردة التى نحصل عليها من انهيار متناسق سلس لنجم كروى متماثل التكوين، ولكن، وكما بين بنروز فى مقابلة إذاعية

عام ١٩٧٣، «سوف تصل القوى المدية إلى مالا نهاية، محدثة منطقة من الزمكان تقوم فيها الجاذبية باعتصار كل ذرة مادية وفوتون ضوئي إلى الفناء بالمعنى الحرفي» .

وتلقف الفكرة باحث في كمبردج عام ١٩٦٥ ، هو ستيفن هوكنج، لقد بين بنروز أن أي جرم ينهار بفعل الجاذبية لابد أن يكوِّن مفردة، وقد أدرك هوكنج أنه بأخذ المعادلات من الجانب المقابل فمن المحتمل إمكان إثبات أن الكون المتمدد قد تولد من مفردة، وقد قضى عدة سنوات يعالج الرياضيات المتعلقة بالفكرة، بالتعاون مع بنروز، ثم نشرا بحثًا مشتركًا بيَّنا فيه أنه بفرض صحة النظرية النسبية العامة، فإن الكون لابد أن يكون قد نتج من انفجار عظيم لمفردة، وبهذا الإنجاز الذي خلفه وراء ظهره، كان هوكنج - أكثر من أي شخص آخر - من قاد مسيرة الأبحاث النظرية والمثيرة للثقوب السوداء منذ بداية السبعينات، جنبًا إلى جنب مع أبحاث النجوم السينية التي لم تكن أقل إثارة، وكان أكثر اكتشافاته شهرة هو انفجار الثقوب السوداء، وهو كشف يستدعي فرضًا يود كل الفيزيائيين من صميم قلوبهم لو يتحقق، ولكن ليس له إلى الآن أية شواهد على ذلك .

هزيمة الرقيب الكوني :

إن إثبات بنروز لوجود مفردة وراء كل أفق للأحداث لم يكن مزعجًا بدرجة كبيرة، حتى مع العلم بأن المفردة، بحكم تعريفها، موضع تتحطم فيه كل القوانين الفيزيائية، ويمكن لأي شيء أن يحدث فيها، ولكن الأمر المهم هو لو وجدت مفردة ليست متدثرة بأفق أحداث، ليس لأن هذه المفردة يمكن أن تكون مصدر قوة جاذبية هائلة، تقتنص أي شيء في قبضتها، بل لأنها وقد تحطمت عندها قوانين الفيزياء سوف تتحدى الجاذبية ذاتها، فتطلق طاقة هائلة في الكون. إنها في الواقع ستتصرف كثقب أبيض أكثر من كونها ثقبًا أسودًا. والأسوء من ذلك، أن هذه الطاقة يمكن أن تكون على أية صورة، كما بيَّن هوكنج وآخرون. ولكن الأمر الأكثر توقعًا أن تكون على صورة مكونات للمادة، بروتونات ونيوترونات، ولكن ما ينتج عن المفردة العارية يكون عشوائيًا تمامًا، وبالتالي توجد إمكانية، وإن كانت ضئيلة، أن تطلق واحدة منها مبنى مشابهًا لتاج محل .

وليس الفيزيائيون سعداء بهذه الرؤية، فما دام قد أثبت أنه لا يوجد أفق أحداث دون مفردة، فإن بنروز يفترض أنه لا يمكن أن توجد مفردة دون أفق أحداث. بدا

الافتراض شيقًا وجذابًا، وأطلق عليه «فرضية الرقابة الكونية Cosmic Censorship Hypothesi ، وللأسف لم يتمكن أحد من إثبات هذه الفرضية، بل إن فكرة أن الكون قد نشأ من انفجار مفردة تميل لدحض هذه الفرضية، وفى التسعينات جاءت شواهد أكثر عن هذه الظاهرة من المماثلات الحاسوبية التى بينت كيفية انهيار الأجرام غير الكروية.

والمفردة تُفهم فى هذا السياق على أنها الموضع الذى تبلغ الجاذبية والكثافة فيه مالا نهاية، وليس من الضرورى أن تكون نقطة هندسية، فقد تكون خطًا مستقيمًا أو صفحةً مستوية. وقد اقترح كِب ثورن من كالتك CalTec عام ١٩٧٢ ألا يتكون ثقب ذو أفق إلا عن طريق الانهيار المتماثل، ويعتبر ثورن من القلة المتخصصة فى الثقوب السوداء، وهو مولود عام ١٩٤٠، وحصل على درجة البكالوريوس عام ١٩٦٢ من كالتك، ثم الدكتوراه عام ١٩٦٥ من برنستون، ظاهرًا على المسرح فى نفس التوقيت الذى ثار فيه الاهتمام بانهيار النجوم، وقد عمل أستاذًا فى كالتك، وكان على صلة وثيقة بهويلر.

كان اقتراح ثورن يماثل قوله بأنه مهما كان شكل الجرم المنهار، فإنه سوف يتحول إلى ثقب أسود فقط لو أنه اجتاز طوقًا تخيليًا ذا قطر محدد، وعرف ذلك بـ «تصور الطوق hoop conjecture». وفى عام ١٩٩٠ قام ستيوارت شابيرو Stuart Shapiro وسول تيوكولسكى Saul Teukolsky من جامعة كورنل فى نيويورك بتمثل عملية الانهيار حاسوبيا، وأثبتا بذلك صحة فرض ثورن، وأن الرقابة الكونية يمكن أن تُخترق.

وقد حسب العالمان تأثير انهيار أجرام شبه كروية ؛ كرة منبعجة بعض الشىء كالأرض، أو جرم على هيئة سيجار، وأشياء مماثلة، إن الأجرام شبه الكروية المكدسة تنهار بالفعل إلى ثقوب سوداء مهما كان شكلها، فهى لصغرها قادرة فى كل اتجاه على اجتياز الطوق ذى القطر المقابل لقطر شفارتزشلد، ولكن الحالة ليست كذلك مع الأجرام شبه الكروية الكبيرة .

فالجرم الذى على هيئة السيجار ينهار إلى شكل مغزلى، تمتد المفردة بداخله مستقيمة كشوكة تصل ما بين القطبين، والجرم على هيئة الكرة المنبعجة ينهار إلى شكل فطيرى، ولكنه يتجاوز ذلك، متخذًا شكل السيجار، ثم إلى شكل قضيب مستدق، وفى كلتا الحالتين تمتد المفردة فيما يجاوز الطوق المفترض امتدادًا شاسعًا، ومن ثم لا يوجد أفق يحجبها عن بقية الكون .

لقد بُنيت الحسابات آخذة فى الاعتبار النظرية النسبية العامة، وبينت أن المفردات القضيبية العارية عن الأفق يمكن أن تحدث فى الكون، على أنها ليست إلا تمثيلاً حاسوبياً، ومن الجائز أن يكون قد فاته شىء ما، وأن كافة الأجرام حين تنهار تخفى مفردتها وراء أفق أحداث، ولكن حتى لو كان هذا صحيحًا، فإن بحث هوكنج الشهير قد بين أن هذا الإخفاء لن يدوم للأبد، وأنه يوما ما سوف تعرى المفردة، بكل ما يحمله ذلك من مضامين .

الثقوب السوداء باردة :

لقد ركز بحث كرستودولو عن عملية بنروز والثقب الأسود الدّوار ليس على الطاقة التى يقتنصها الجسم الفار بعيداً عن كرة الطاقة، بل على الطاقة المفقودة من الثقب ذاته، فحين يقتنص الجسم طاقة، تقل سرعة دوران الثقب شيئًا ما، إذ يخسر شيئًا من عزم دورانه. وقد تتصور أنه بإلقاء جسم ذى طاقة معينة يمكن أن تعاد الطاقة المقتنصة للثقب، فيسرع الثقب إلى حالته الأولى، ولكن حسابات كرستودولو بيَّنت أنه فى هذه الحالة سوف تكون الطاقة المعادة أكبر دائمًا من المفقودة بسبب خسارة عزم الدوران. فعملية تبادل الطاقة لا يمكن أن تكون انعكاسية تمامًا، بفرض أننا نريد أن نسترجع التغير فى عزم الدوران بالضبط، ولقد قاد ذلك إلى مفهوم الكتلة غير القابلة للنقصان للثقب الأسود الدوار، والتى قال بها هوكنج، وربط بينها وبين مساحة سطح الثقب .

وقد فُتن الفيزيائيون بهذا الكشف، لأن العمليات غير المنعكسة لها وضع خاص فى الطبيعة؛ إنها مرتبطة بقانون غاية فى الأهمية فى الفيزياء، القانون الثانى للديناميكا الحرارية، إن هذا القانون ينص، فى أبسط صورة له، على أن الأشياء جميعها تبلى، وبإمكانك أن ترى هذا القانون فى فعاليته حين تضع قطعة من الثلج فى كوب ماء ساخن؛ إن الحرارة تسرى من الجسم الأكثر سخونة (الماء) إلى الأبرد (مكعب الثلج) إلى أن يصبح السائل متجانساً فى درجة حرارته، ثم تنتهى القصة. فالقانون مرتبط بتسلسل الأحداث مع الزمن، خذ فيلما للعملية، فإذا ما عكست إدارته أحسست على الفور بأن هناك خللا ما .

ويعبر عن هذا القانون بصورة أخرى، إن كمية المعلومات فى الكون (أو فى نظام مغلق كالثلج فى الكوب لو فرض أنهما فى حيز مغلق تمامًا) مآلها دائما للنقصان، فحين كان النظام مكونا من مكعب ثلج وماء ساخن، كان يتضمن كمًا من المعلومات

أكثر مما آل إليه عندما تحول إلى سائل متساوٍ فى درجة الحرارة. ويقيس الفيزيائيون المعلومات فى الواقع بصورة منعكسة، فهم يقيسون اللانظام، وليس النظام، ويعتبرون الفقد فى المعلومات مكسبا لخاصية أخرى يطلقون عليها «الانتروبياentropy» (تقابل زيادة اللانظام)، إن ما يحدث فى غرفة مراهق دون أن يسمح لأمه بترتيبها مثل جيد للانتروبيا، فالقانون الذى يقضى بأن الانتروبيا لا يمكن أن تتناقص، بل على أحسن الفروض تظل ثابتة، هو من أهم قوانين الكون، وعلى ذلك فحين اكتشف الفيزيائيون أن الثقب الأسود يمتلك خاصية لا يمكن أن تتناقص، بل على أحسن الفروض تظل ثابتة، أخذ ذلك بلبهم .

وقد بين هوكنج عام ١٩٧١ أنه ليس من الضرورى أن يكون الثقب دوَّارًا حتى يتمتع بهذه الخاصية. فسطح ثقب ساكن إما أن يكون ثابتا (إذا لم يمتص مادة أو طاقة) أو يزيد (فى حالة امتصاصه لمادة أو طاقة)، وأنه لو أن ثقبين تصادما واندمجا فإن سطح الثقب الناتج يكون أكبر من مجموع سطحى الثقبين المندمجين. كل هذه الآراء تم التوصل إليها متواقتة مع انطلاق أوهورو. وقد كان التماثل بين حتمية تزايد سطح الثقب الأسود وحتمية تزايد الانتروبيا محفزاً لهوكنج مع زميليه جيمس برادين James Bradeen (كان وقتها يعمل فى جامعة بيل) وبرادون كارترBradon Carter (زميله فى كامبردج) أن يضعوا تماثلات أخرى بين قوانين الديناميكا الحرارية وخصائص الثقوب السوداء، وهو عمل نُظر إليه فى البداية على أنه مجرد حيَل رياضية، لا تنبئ عن شىء ذى قيمة علمية. لقد كان القول بأن مساحة سطح الثقب هى بالفعل مقياس للانتروبيا الخاصة به يمثل مشكلة عويصة، إذ إن الانتروبيا هى أيضًا مقياس لدرجة الحرارة، فلو أن الثقوب السوداء كانت ذات حرارة، لأشعتها، وهو ما يتناقض مع ماهيتها، فكل إنسان يعلم أنه لا يمكن أن تشع شيئًا على الإطلاق .

حسنا، ليس كل إنسان بصفة قاطعة، فكما اعترف هوكنج فى كتابه «موجز مختصر للزمن A Brief History of Time ، فإن أبحاث "الميكانيكا الحرارية للثقوب السوداء» التى قام بها مع زميليه كانت ترمى فى المقام الأول إلى إثبات خطأ الشخص القائل بأن لها درجة حرارة، لقد بيَّنت أبحاثهم أن درجة حرارة الثقوب السوداء هى الصفر المطلق، ولكنهم كانوا مخطئين .

كان الشخص الذى تحدى الجميع، واستمر فى تحديه، هو جاكوب بكنشتاين Jacob Beckenstein ، وكان وقتها طالب دراسات عليا تحت إشراف هويلر. ويحكى

هويلر عن الظرف الذى أدى بتلميذه إلى سلوك هذا الطريق، كان ذلك إثر حديث عابر بينهما دار فى مكتبه عام ١٩٧٠ حول فيزياء الثقوب السوداء، لقد ذكر هويلر متندرًا ما يشعر به من تأنيب ضمير حين يضيف الثلج إلى فنجان قهوة ساخن لكى يحصل على مزيج متوسط الحرارة، فهو بذلك قد ساهم فى زيادة انتروبيا الكون، أو كمية الطاقة المشتتة به. لقد فقدت المعلومات، وهى جريمة «يتردد صداها إلى آخر الزمن» كما عبر عنها هويلر. ثم استطرد قائلا: «ولكننى لو سكبت فنجان القهوة الساخن فى ثقب أسود، فقد أخفيت عن العالم جريمتى». لقد كان يشير فى ذلك إلى قضية «الثقب الأسود ليس له ملامح»، وأن كل المعلومات المتاحة عنه هى الكتلة والشحنة وسرعة الدوران، فليس ثم معلومات إن كان قد تكوَّن من مادة نجمية أم من فناجين من القهوة، أو ما إذا كانت فناجين القهوة التى سكبت به ساخنة أم باردة أم فاترة، فانتروبيا القهوة قد غاصت فى الثقب، مع الفنجان ذاته .

وانصرف بكنشتاين مفكرًا فى هذه العبارات التى تجمع بين الجد مع الطرافة، ثم عاد بعد عدة أيام ليواجه أستاذه برد فعله عن الموضوع: «إنك لا تبدد الانتروبيا حين تسكب فنجان القهوة فى الثقب، فالثقب له بالفعل انتروبيا، وأنت تزيدها بذلك» .

وفى ثقة ربما تُعلل بقلة الخبرة فى المجال البحثى، اندفع بكنشتاين ليقترح أن تكون مساحة سطح الثقب هى بالفعل مقياس لكل من الانتروبيا الخاصة به ولدرجة حرارته، ثم قام بحساب درجة الحرارة لثقب يبلغ قدر الشمس ثلاث مرات (أصغر ثقب ممكن حدوثة نتيجة انهيار نجمى) فوجدها لا تزيد عن جزء من مليون درجة فوق الصفر المطلق، والذى هو أقل من الصفر المئوى بـ ٢٧٣ درجة !. ودرجة الصفر المطلق هى الدرجة التى عندها تتوقف الحركة الحرارية للذرات والجزيئات .

إن الدرجة التى توصل لها بكنشتاين لا تكاد تذكر، بل وتنخفض أكثر للثقوب الأكبر جرمًا، ولكنها عظيمة المغزى، إنها بكل تأكيد ليست صفرا، وتعنى بالتالى أن الطاقة يمكن أن تشع من الثقب، كل هذه الأفكار تضمنتها رسالته للدكتوراه، ولكن فحواها كان بطبيعة الحال قد انتشر قبل ذلك .

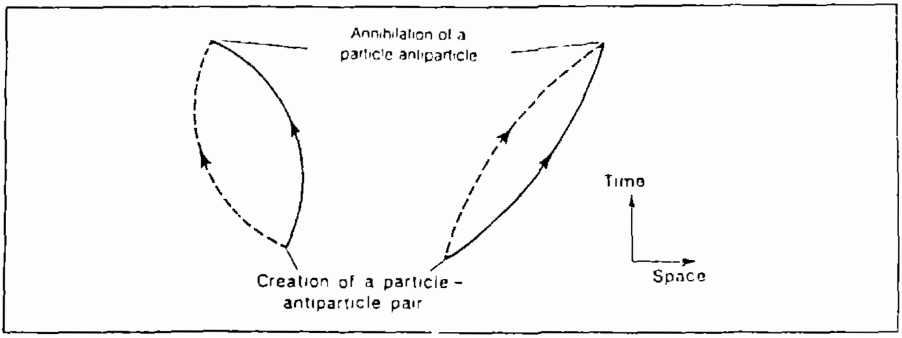
أما عن هوكنج، والذى كان فى هذا الوقت قد احتل مكانة خبير بالثقوب السوداء، فقد اعتبر تلك الأفكار مجرد هراء، وكان عمله مع زميليه رد فعل مباشر لها، وانتاب بكنشتاين القلق لهذه المواجهة الحامية (ليس فقط من هوكنج، ولكن من غيره أيضًا، من

بينهم فرنر إسرائيل). ورغم أنه واصل تطوير فكرته، إلا أن بحثه فى عام ١٩٧٣ قد ردد صدى آراء هوكنج فى أن الخصيصة التى اكتشفها لا يجب النظر إليها كمعبرة عن درجة الحرارة «فمثل هذا القول يسبب تضاربًا يجعله غير ذى فائدة»، إلا أنه رغم اهتزاز ثقة بكنشتاين فى رأيه، فإن تدعيمه سرعان ما جاء من جانب غير متوقع بالمرة.

فى نفس العام، علم هوكنج أيضًا خلال زيارته لموسكو أن اثنين من الباحثين السوفييت، ياكوف زلدوفتش Yakov Zel'dovich وألكس ستاروبينسكى Alex Starobinsky قد اكتشفا أن الثقب الدوار يمكنه أن يخلق جسيمات من طاقته، ويبثها فى الفضاء. وكان رأيا مثيرا ومحتمل التصديق، فالطاقة المطلوبة لخلق الجسيمات موجودة بالفعل فى كرة الطاقة على صورة ما من عملية بنروز. ولكن حين عالج هوكنج الأمر كانت دهشته بالغة، أن بيَّنت المعادلات أنه حتى الثقب غير الدوَّار يمكن أن يبث جسيمات فى الفضاء. لقد وصل بطريق آخر، على عكس ما كان يقصد، إلى تأكيد رأى بكنشتاين، وأعلن اعترافه عام ١٩٧٤ بأن الثقوب السوداء لها بالفعل درجة حرارة، وأنها تبث جسيمات فى الفضاء، وهو ما يعرف بظاهرة إشعاع هوكنج (بما يحمل قدرًا من عدم العدالة بالنسبة للعالمين السوفيتيين)، ولكن درجة الحرارة ليس صفة مستقلة للثقب بالإضافة للكتلة والشحنة وسرعة الدوران، فهى تعتمد على مساحة سطح أفق الأحداث، والذى يتحدد هو نفسه بتلك الخصائص الثلاث. فحتى الثقب الأسود الحار ليس له ملامح .

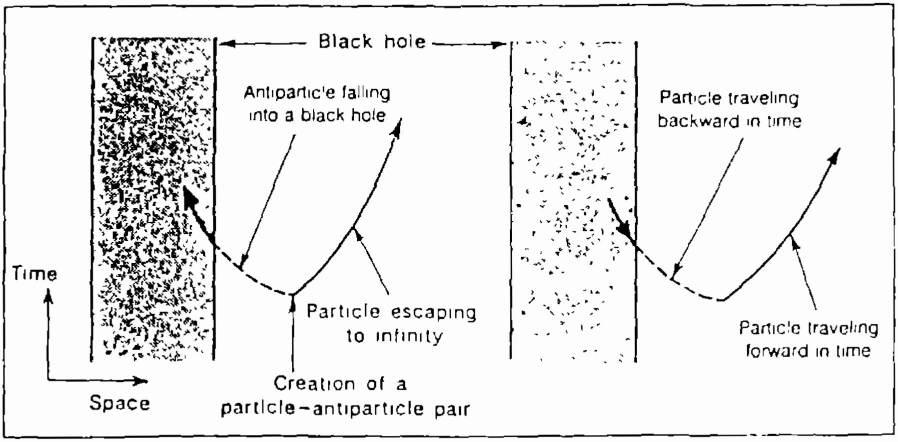
وتُفهم ظاهرة إشعاع هوكنج على أساس كل من النظرية النسبية ونظرية ميكانيكا الكم؛ فالأولى تخبرنا عن إمكانية تحول الطاقة إلى كتلة، والثانية تقول بحتمية وجود عدم يقين كامن فى كل نظام فيما يتعلق بطاقته. ويعنى ذلك، ضمن أشياء أخرى، أن الطاقة لا يمكن أن تصل صفراً تمامًا، فلو تحقق ذلك لما كان هناك عدم يقين، فما نتصوره من فضاء خاوٍ تماماً يحتوى على قدر من الطاقة، لا يمكن أن تقاس بطريق مباشر، ولكن يمكن أن يتمخض عنها جسيمات قصيرة الأجل بصورة لا يتصورها عقل، فهى تظهر وتختفى فى غضون فترات لا تزيد عن 10^{-44} من الثانية. هذه الجسيمات يجب أن تظهر أزواجا، كل جسيم مصحوب بنقيضه، حتى يظل التعادل بالنسبة للشحنة الكهربية محافظا عليه، فالإلكترون (الجسيم سالب الشحنة) الذى يظهر خلال هذه العملية يكون مصحوبا بالبوزترون (الجسيم موجب الشحنة، والمطابق

للإلكترون فى كافة الخواص الأخرى). وتسمى الجسيمات التى تخلق خلال هذه العملية «الجسيمات التقديرية virtual particles»، وهى سرعان ما تتفانى، كل جسيم مع نقيضه، فتُعاد للفضاء الطاقة التى استعيرت لخلقها (شكل ٥-٦). إنها فكرة غريبة للغاية، ولكن وجود هذه البحار الهائجة من الجسيمات التقديرية له تأثير ملموس على العالم الواقعى، ومن ثم فلا شك البتة فى وجودها .



(شكل ٥-٦) إن ما نتصوره «فراغًا» فى الكون هو فى الواقع متهيج بحركة خلق وفناء للجسيمات التقديرية، تخلق من لا شىء تطبيقًا لمبدأ عدم اليقين، ولكنها تتفانى على الفور، معطية خطوطًا كونية على شكل منحنيات منغلقة .

ولكن ما الذى يحدث لمثل هذه الجسيمات حينما تخلق على حافة أفق الأحداث تمامًا؟ فى عملية مشابهة لعملية بنروز، يمتص أحد الجسيمين فى الثقب، بينما ينطلق الآخر مبتعدًا فى الفضاء، لقد تحول إلى جسيم حقيقى، على حساب الطاقة الموجودة فى كرة الطاقة (شكل ٥-٧)، وكما فى عملية بنروز تمامًا، يفقد الثقب قدرًا من الكتلة، فينكمش شيئًا ما. هذا الإشعاع من الجسيمات هو ما يعطى الثقب درجة الحرارة التى تنبأ بها بركنشتاين، وهى ترتبط بمساحة أفق الحدث بمعنى أنها تقل كلما اتسعت هذه المساحة .



لو أن هذه هى نهاية القصة لكانت مجرد إضافة لمعلوماتنا يُشكر عليها هوكنج، فهى قد جمعت بين ثلاث نظريات من أهم نظريات الفيزياء ؛ الديناميكا الحرارية والنسبية وميكانيكا الكم، ولكن هناك ما هو أكثر إزعاجًا فى اكتشاف هوكنج .

الأفق المتفجر :

إن المزعج فى اكتشاف هوكنج هو أن الثقوب السوداء الصغيرة تنفجر مخلفة وراءها مفردات عارية، فالثقوب السوداء الضخمة سوف تعوض أضعاف ما تفقده خلال إشعاع هوكنج، بما تمتصه من مادة من الكون، أو حتى من ضوء المشع من النجوم أو من الخلفية الإشعاعية للكون(١) ، ولكن تصور ثقبًا أسوداً تبلغ كتلته بليون (ألف مليون) طن، وهو كتلة كويكب صغير مثل أبولو، أو جبل مثل إفرست، إنه يلزم إضافة ستة آلاف بليون من هذه الكتلة لتكون كوكب كالأرض، فهذا الثقب المتواضع بالمقاييس الفلكية يكون قطر شفارتزشلد بالنسبة له فى حدود $١٠^{-١٣}$ سم، تقريبًا فى حجم نواة الذرة، لن يكون باستطاعة مثله أن يمتص شيئا على الإطلاق، فحتى ابتلاع بروتون أو نيوترون سوف تكون قضمة ضخمة بالنسبة له. ولكن طبقا لحسابات هوكنج سوف تكون درجة حرارته حوالى ١٢٠ بليون درجة مئوية!، وسوف يعطى طاقة فى

(١) إشعاع يملأ الكون متخلف عن الانفجار العظيم – المترجم .

حمية تبلغ ٦٠٠٠ ميجاوات، أى ما يوازى عدة محطات توليد طاقة فائقة القدرة، وتعادل الطاقة المنبعثة منه بانكماش قطره، وكلما استمر فى الانكماش زادت درجة حرارته، إلى أن يختفى هذا الشىء كلية، غير مخلف وراءه سوى الإشعاع الذى بثه فى الكون. وكاحتمال ثان، قد تُوقف التأثيرات الكمية عملية انكماشه عند حجم معين. على أنه يوجد احتمال ثالث، أن يستمر الانكماش إلى أن يتلاشى أفق الأحداث، تاركا مفردة عارية. والأسوء من ذلك، أن هذه المفردة ستكون كتلة سالبة، معادلة لكتلة ما بُث من جسيمات .

ليس الأمر مزعجًا لو كان اهتمامنا منصبًا على ما يتكون من ثقوب سوداء اليوم، فما يحدث الآن هو أنك لا تستطيع الحصول على ثقب أسود إلا بتكديس كتلة تبلغ عدة مرات كتلة الشمس، ثم تتركها للانهيار الجذبى، وما يتكون من ذلك من ثقوب سوداء لن تكون درجة حرارتها إلا فى حدود ضئيلة للغاية، لا تعطى من إشعاع هوكنج إلا النزر اليسير، ولكن قبل اكتشاف هوكنج لظاهرة انفجار الثقوب السوداء المتناهية الصغر بثلاث سنوات، كان قد أعلن أن إمكانية تواجدها فى الكون، تخلّفت نتيجة الضغط الهائل الذى كان فى فترة الانفجار العظيم. تذكر أن الثقب الأسود يمكن أن يتكوّن من أى شىء على الإطلاق، شريطة إمكانية كبسه إلى القطر المطلوب، فالأرض ذاتها يمكن أن تتحول إلى ثقب أسود لو كُبست إلى عدة سنتيمترات. فإذا لم يكن الانفجار العظيم متماثلاً تمامًا، فإن معنى ذلك أن توجد مناطق من الكون أكثر كثافة من المتوسط، ومناطق أخرى أقل من المتوسط، فى هذه الحالة ليس من المستبعد أن تخرج المناطق زائدة الكثافة من الانفجار العظيم على هيئة ثقوب سوداء متناهية الصغر .

وبهذه الطريقة، وفى عملين مستقلين تماما، بيَّن هوكنج الاحتمال القوى بوجود ثقوب سوداء سابحة حرة طليقة فى الكون، وبأن مصير مثل هذه الثقوب هو التلاشى، مع احتمال قوى بأن تخلِّف وراءها كتلة سالبة. ولقد اخترت المثال الخاص بالثقب الأسود الصغير الذى بدأ بستة بليون طن لأن الحسابات تبِّين أن مثله لا بد وأن يكون قد تلاشى منذ أمد بعيد فى الفترة من حدوث الانفجار العظيم إلى اليوم، كل هذه الآراء لم يكن مرحبا بها من معظم الفيزيائيين، هل تتذكر كلمات إيدنجتون التى سخر بها من تشاندراسيخار ؟

> يجب أن تظل النجوم مشعة ومشعة، تتقلص وتتقلص، إلى أن تصبح - فى تصورى - بقطر عدة كيلومترات، فتتعادل الجاذبية مع الإشعاع، ويبقى النجم فى سلام .

لقد أدار هوكنج هذا فى رأسه، وسوف أعيد صياغة عبارة إيدنجتون لكى تعبر عن رأى هوكنج :

> يجب أن تظل الثقوب السوداء مشعة ومشعة، تتقلص وتتقلص، إلى أن يختفى – فى تصورى – أفق الأحداث، وتنفجر المفردة التى بداخله متلاشية فى الكون .

وليس أية مفردة، بل مفردة ذات كتلة سالبة، بهذا تكون حافة الزمن ذاته ظاهرة للعيان أمام الجميع! وحتى إلى التسعينات كان الكثير من الفيزيائيين يجدون الأمر هراء كما ظن إيدنجتون بفكرة الثقوب السوداء فى الثلاثينات، ففى الحديث الإذاعى الذى عبر فيه بنروز عن رأيه بالنسبة لعدم وجود دلائل مشجعة فى صالح الرقيب الكونى، قال :

> لقد تردد كثيرا احتمال وجود المفردات، ولو كان الأمر كذلك لكان بمثابة كارثة على علم الفيزياء. ولكنى لا أؤيد هذا الخوف. حقيقة ليس لدينا نظرية تناهض نظرية مفردات الزمكان، ولكنى متفائل، وأعتقد أن نظرية كهذه لابد أن تظهر يومًا ما .

وبروح بنروز، آن الأوان أن نكتشف كيف أن وجود مثل هذه الحواف للكون يسمح بالسفر عبر كل من الفضاء والزمن، ولكن أود أولاً أن أتراجع عن موضوع المفردات، لنلقى نظرة موجزة على الأمور الغريبة التى تحدث خارج أفق الأحداث مباشرة لثقب أسود. ذلك لأنه، وعلى الرغم من كل الغرابة والتشويه الهائل للزمكان المصاحب للمفردة ذاتها، فإن مجرد الاقتراب من الثقب الأسود، حتى دون التجرؤ على الولوج إلى داخله، يمكن أن يسبب لك الدوار، عقليًا وجسديًا .

قوة طاردة محيِّرة :

إن أول شيء غريب تشعر به عند اقترابك من ثقب أسود هو ما نسميه القوة الطاردة، هذه القوة مألوفة لكل من ركب سيارة تسير مسرعة فى خط منحن، فهذه القوة تدفع بك إلى الخارج، لعلك تتذكر حديث أستاذك للفيزياء عن هذه القوة، وأنها قوة تخيلية تنتج عن الدوران. وبصرف النظر عن الجدل حول كونها تخيلية أم حقيقية، فإن

آثارها لا تنكر. فلو أن سيارتك دارت بعنف إلى اليمين، فسوف تتوقع لكرة تنس على الطاولة الأمامية أن تُقذف بعنف لليسار، أما لو رأيتها بدلا من ذلك تتحرك بسلاسة إلى اليمين، فسوف يأخذ منك العجب مأخذه، ولكن الواقع أن هذا ما يحدث لو كنت في مركبة فضائية وقامت بمثل هذا الدوران على حافة أفق أحداث ثقب أسود، طبقا لما توصل إليه مارك أبراموفز Mark Abramowicz من المعهد الاسكندنافي للفيزياء النظرية بكونبهاجن .

كان أبراموفز منشغلا منذ بداية السبعينات بلغز القوة الطاردة التي تتمخض عن النظرية النسبية العامة، وفي التسعينات بين أن هذه القوة تعمل عكس المألوف، بأن تدفع بك بالفعل إلى الداخل، لو كان الجسم يمس أفق الأحداث، يحدث ذلك على بعد معين من الأفق، وهذا البعد يعتمد على خصيصة أخرى للثقب الأسود، كثيراً ما تثير البلبلة .

تذكر أن الأفق يكون على بُعد من مفردة مركزية، حيث تكون سرعة الهروب مساوية لسرعة الضوء، فلو أن لديك صاروخاً ذا محركات لانهائية القدرة، ولديك قدراً لانهائيًا من الوقود، وأدرت مؤخرة الصاروخ للمفردة مطلقًا لمحركاته العنان، فكل ما يمكنك عمله هو أن تظل محلقًا في مكانك عند أفق الأحداث، ولكن أفق الأحداث لا يتكون عند نفس البعد من المفردة، والذي ينحني عنده الضوء في دوائر حول المفردة، إن هذا يحدث في الواقع على بعد مرة ونصف من قطر شفارتزشلد. وفيما بين هذا البعد، والذي يطلق عليه «دائرة سرعة الضوء speed-of-light circle» وأفق الأحداث، لا يمكن لشعاع الضوء أن يظل دائراً حول أفق الأحداث؛ فهو إما أن يقتحم الثقب، أو يدور منحنيًا ثم ينطلق عائداً للفضاء في قوس مفتوح، وفيما بين أفق الأحداث ودائرة سرعة الضوء يمكن لصاروخك ذي القدرة اللانهائية أن يوازن نفسه مع قوة الجاذبية عند أية نقطة من الثقب، عن طريق الاستخدام الحكيم للمحركات، ثم بواسطة صواريخ جانبية، يمكن أن يدور حول الثقب، في هذه اللحظة تبدأ الإثارة .بل في الواقع تبدأ عند دائرة سرعة الضوء. فبالنسبة للمسارات الدائرية لفوتونات الضوء ذاتها، تكون القوة الطاردة صفرا، ثم ينعكس اتجاهها عندما تتجه إلى داخلها. وقد بين أبراموفز أن الضوء في ذلك يتبع جيوديسياً محدداً، وهو المقابل النسبوي للخط المستقيم للمستوى المسطح. وحيث إن القوة الطاردة لا تظهر إلا عندما نتحرك في مسار منحن عن الجيوديسي، فإن فوتونات الضوء لا تعاني أية قوة طاردة، وبالمثل أية مركبة فضائية

تتحرك على مسارها، بأية سرعة مهما كانت، فإذا ما فرضنا أن قوة المحركات تعين المركبة على مقاومة الجاذبية بحيث تظل على نفس محيط دائرة سرعة الضوء، فإن الصواريخ الجانبية تدفع بها على ذلك المحيط بأية سرعة كانت، ولن يشعر ركابها بالوزن أو القوة الطاردة .

وعدم الشعور بالوزن فى تلك الحالة يختلف عنه بالنسبة لروّاد الفضاء حين يخرجون من نطاق جاذبية الأرض، فهم يتحركون وقتها متحررين من الجاذبية الأرضية، ولا يحتاجون بالتالى لأية قوى دفع طالما هم فى مسارهم الحر، بينما يستخدم المسافرون الخياليون حول الثقب قوى هائلة للحفاظ على تحركهم فى المسار الدائرى، ومع ذلك فهم لا يشعرون بالوزن إطلاقًا .

وفى حالة الدوران فى مسار دائرى، حول الأرض مثلاً، توجد سرعة واحدة محددة تتساوى فيها القوة الطاردة مع قوة الجاذبية، عندها يمكن للمركبة أن تستمر فى اندفاعها دون اللجوء إلى محركاتها، فى مثل هذه الحركة، لن يشعر الرواد بالوزن(١). أما للدوران فى دائرة بسرعة أخرى، فإنه يلزم استخدام محركات دافعة دون انقطاع لتوجيه المركبة فى مسارها، وفى هذه الحالة يشعر الركاب بضغط حوائط المركبة على أجسادهم. ولكن فى المسار حول دائرة سرعة الضوء، لا تحتاج المحركات إلا لمعادلة الجاذبية، وعندها يمكن التحرك بأية سرعة فى حرية تامة .

على أنه فى حالة التحرك داخل محيط سرعة الضوء فإن القوة الطاردة تكون مضافة للجاذبية، وبالتالى فإن قوة الدفع للخارج المطلوبة للحفاظ على مسار المركبة تكون أكبر كلما زادت سرعة الدوران. وبدلا من أن يشعر الركاب بطرد للخارج أثناء ذلك، يشعرون بطرد للداخل، بعبارة أخرى، تعمل قوة الطرد على الدوام على تباعد المركبة عن محيط دائرة الضوء .

كل ذلك يتجاوز مجرد اهتمام من النسبويين بأمور غريبة، إن الثقب الأسود الوحيد الذى اكتشف للآن هو الدجاجة س-١، حيث تنتزع المادة من قرين الثقب بفعل جاذبيته الهائلة، مكونةً قرصًا تراكميًا دوارًا، تصل فيه درجة الحرارة إلى حد إمكان بث أشعة سينية، هذه الأشعة هى التى دلّت على وجود الثقب الأسود .

(١) تستخدم هذه الحقيقة فى تدريب رواد الفضاء على حالة إنعدام الوزن وهم على سطح الكرة الأرضية – المترجم .

ولكن كيف يُغذى القرصُ التراكمى الثقب بالمادة؟ طبقا للرؤية الجديدة لأبراموفز، بمجرد أن تعبر المادة حيِّز دائرة سرعة الضوء فإن سرعة الدوران سوف تدفع به إلى داخل الثقب بدلا من أن تطرده لخارجه، وتصبح العملية كما لو أنك قلَّبت سائلا فى كوب بسرعة، فبدلا من أن يهبط عند مركز الدوران، إذا به يرتفع كسنام الجمل. إن عملية كهذه من شأنها أن تؤثر على إشعاع الأشعة السينية، وبالتالى يمكن مراقبتها دون اللجوء إلى المغامرين التخيليين .

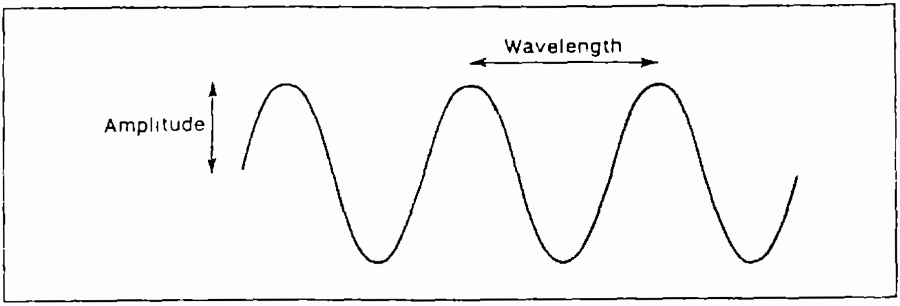
ولكن انعكاس القوة الطاردة ليست هى الشىء الوحيد العجيب الذى يمكن لهؤلاء المغامرين مشاهدته، اختر ثقبًا كبير الحجم بدرجة كافية، حيث لا تكون قوة الجذب عند الأفق متطرفة. حتى بدون عبور ذلك الأفق ، سيتمكن المغامرون من استخدام تشوه الزمكان حول الثقب للقيام برحلة عبر الزمن ، ولكن فى اتجاه واحد، فى اتجاه المستقبل .

مركبة زمن ذات اتجاه واحد :

إن دور الجاذبية فى إبطاء سريان الزمن ليس محل شك، لقد قيست هذه الظاهرة بالفعل، عن طريق الانزياح الأحمر الجذبى للضوء بواسطة الأقزام البيضاء .

وقد وضّحتُ من قبل ظاهرة الانزياح الأحمر الجذبى عن طريق الطاقة المفقودة من الضوء فى محاولته التحرر من قوة جذب لجرم مكتنز، ولكن ظاهرة مط الزمن الجذبى يعطينا منظوراً آخر لما يحدث. فمن وجهة النظر هذه، يمكن للضوء ذاته أن يعمل كساعة، فهو يسير بسرعة ٣٠٠ ألف كيلومتر فى الثانية، وبالتالى يمكن أن يستغل طوله الموجى كمقياس لمرور الزمن. إن الموجات الكهرومغناطيسية التى تصنع الضوء، كما بيَّن ماكسويل، هى عبارة عن مجالين متعامدين، أحدهما كهربى والآخر مغناطيسى، يتذبذبان بتردد معين، يمكننا أن نتصور هذه الموجات بصورة مبسطة على النحو المبين فى الشكل (٥-٨) فى هذا الشكل يقصد بسعة الموجة مدى اهتزازها، وبالطول الموجى المسافة بين نقطتين متماثلتين، وليكن قمتين فيها، فإذا ما تخيلت نفسك راصداً تحصى القمم التى تمر بك، فسوف تجد أن الزمن بين قمتين يساوى

الطول الموجى مقسومًا على سرعة الضوء، وكل قمة يمكن أن تعتبر ومضة من طاقة، وبالنسبة لضوء ذى طول موجى معين (أى لون معين) تنساب هذه الومضات متتابعة على فترات منتظمة، بالضبط كدقات الساعة. وفى الواقع هذه هى الطريقة التى تُعرَّف بها الثانية الزمنية اليوم .



(شكل ٥-٨) موجة

كان التعريف السابق للثانية الزمنية باستخدام سرعة دوران الأرض حول محورها، وهى ساعتنا الفلكية الأصلية، وتقدر الثانية بناء على ذلك كجزء من ٨٦٤٠٠ جزء من طول اليوم الفلكى (حاصل ضرب ٦٠×٦٠×٢٤)، ولكن طول اليوم يتغير تغيراً طفيفًا على مدى السنة لأسباب فلكية، وبالتالى فإن سرعة دوران الأرض حول محورها أبعد ما تكون معيارًا منضبطًا للقياس. وعلى ذلك فإن الثانية تعرف الآن على أساس تردد إشعاع عنصر السيزيوم، فالثانية هى الزمن الذى ينقضى بعد انبعاث ٩١٩٢٦٣١٧٧٠ ومضة من ذلك الإشعاع. هذا ما يقصد اليوم بتعبير «الساعة الذرية»، والتى هى فى الواقع ساعة ضوئية، بهذا التردد تُضبط كافة الساعات على الأرض اليوم. ولكنا نريد أيضًا أن نلاحق الأرض فى اختلالها الطفيف، إذ نريد أن تكون الساعة الثانية عشرة مطابقة لوضع الشمس فى كبد السماء، ولهذا السبب فإن المسئولين عن ضبط التوقيت يسمحون أحيانًا بشىء طفيف من التجاوز يحقق لنا ذلك. وما يهمنا فى هذا بالنسبة للانزياح الأحمر هو أن كل ثانية تساوى أية ثانية أخرى، وأنها تعرَّف بمدلول سرعة موجات كهرومغناطيسية معينة، هى موجات الضوء .

والآن، لنطبق هذا المفهوم بالقرب من الثقب الأسود، فليحمل المغامرون عنصر السيزيوم، ويقيسوا تردد إشعاعه، حتى يتأكدوا أنه بالضبط كما هو فى موطنهم الأصلى وسوف تغمرهم السعادة حين يرون أن كل شىء على ما يرام، على أن مراقباً على البعد يلتقط هذا الإشعاع سوف يجد أن طوله الموجى قد استطال شيئا ما ، وذلك بسبب الانزياح الأحمر الجذبى. فالوقت الذى ينقضى لبث ذرة السيزيوم للعدد السابق ذكره من الترددات عند المغامرين، والذى يمثل الثانية بالنسبة لهم، يستغرق أكثر من نفس عدد الترددات لذرة السيزيوم الموجودة على مركبة المراقبين، فبالنسبة للمراقبين يعيش المغامرون حياتهم بسرعة أبطأ.

ولكن بالنسبة للمغامرين فإنهم لا يلاحظون تغيراً فى الأمر، بل تراهم يجادلون فى أن المراقبين هم الذين يعيشون حياتهم بسرعة أكبر! ذلك لأنهم إذا ما تمكنوا من التقاط إشعاع ذرة السيزيوم التى لدى مراقبيهم، فإن الضوء سوف يكتسب طاقة تعطيه انزياحًا تجاه اللون الأزرق، والذى يمثل تردداً أعلى، وبالتالى سوف يستخلص المغامرون أن الوقت يمر أسرع من معدله فى الكون من حولهم .

إن أيًا من التصورين صحيح، فإذا ما أطلق المغامرون صواريخهم لكى يعودوا أدراجهم إلى زملائهم المراقبين، فإن الزمن المسجل لدى المغامرين سوف يكون أقصر مما سُجِّل لدى زملائهم. الأكثر من ذلك، سوف يكون عمر المغامرين أقل بالفعل من عمر زملائهم، فظاهرة مط الزمن ليست تأثرًا خادعًا نتيجة أسلوب مختار لقياس الزمن، فاستخدام الضوء لذلك هو فى الواقع استخدام التوقيت الكونى. فالضوء، كما أدرك آينشتاين، هو الشىء الوحيد فى الكون الذى يعتبر مقياسًا أساسيًا لا يختل للطول والزمن على السواء. وإذا ما صعب عليك أن تتصور أن المراقبين قد زادوا عمراً عن المغامرين، فتذكر أن الجميع مخلوق من ذرات، وكما أثَّرت الجاذبية فى ذرة السيزيوم فتغير إشعاعها، فإنها تؤثر بنفس الطريقة فى كافة ذرات أجسام الطرفين. إن الزمن يسير ببطء حقيقى بالقرب من الثقب الأسود .

وهذا ما يمكّننا من استخدام الثقب الأسود كوسيلة للسفر المريح فى الزمن، فكلما اقترب المغامرون من الثقب، زاد تأثير هذه الظاهرة. إن بإمكان المغامرين أن يرتبوا رحلات مكوكية بينهم وبين زملائهم المراقبين، فى كل مرة يقضون عدة ساعات بزمنهم، ليجدوا أنه قد مر عدة قرون، أو مئات من القرون، بحسب تخطيط المغامرين

ومدى قربهم من الثقب، على مركبة المراقبين، ولن يكونوا بالطبع هم نفس الأشخاص فى كل مرة .

إن هذا يبدو ضرباً من الخيال، وقد استُغل بالفعل فى العديد من قصص الخيال العلمى، ولكنه مبنى على أسس علمية راسخة، الشىء الوحيد الذى يؤخذ على هذا التصور هو ضرورة البحث عن ثقب أسود هائل الكتلة، حتى يمكن تفادى قوة مدِّية متطرفة، وأقرب موضع متوقع لذلك هو منتصف المجرة، أى على بعد أكثر من ٣٠ ألف سنة ضوئية، فللوصول إلى هذا البعد السحيق فى زمن معقول يلزم إيجاد طريق مختصر عبر الفضاء .

إن هذه فكرة أخرى من أفكار الخيال العلمى، إيجاد نفق عبر ما يسمى «الفضاء الأعظم hyperspace» ، ولكن ، هل تصدق أن هذه الفكرة أيضًا لها أساس علمى راسخ ؟

الفصل السادس

اتصالات الفضاء الأعظم

كيف تتحقق قصص الخيال العلمى . الثقوب البيضاء، ثقوب الديدان، وأنفاق الزمكان. رحلة إلى كون آخر، وإلى ماضينا . الحائط الأزرق وطريق الالتفاف حوله. فتح عنق الفضاء الأعظم، بواسطة وتر مضاد للجانبية .

حينما أراد عالم الفلك كارل ساجان أن يكتب قصة علمية، احتاج لوسيلة خيالية يقطع بها أبطاله مسافات شاسعة عبر الكون ، وقد كان يعلم طبعًا أنه من المستحيل التحرك بأسرع من سرعة الضوء، كما كان على دراية أيضًا بالعرف السائد فى مجال القصص العلمى، والذى يسمح للكتّاب أن يستغلوا حيلة الطرق المختصرة عبر "الفضاء الأعظم hyperspace" للالتفاف حول المشكلة ، ولكنه كعالم أراد شيئًا أكثر رصانة من حيلة اتفاقية . هل ثمة من رداء أكثر احترامًا يكسو به قصته ؟ لم يكن ساجان يعرف الإجابة، فخلفيته العلمية كانت فى مجال دراسة الكواكب . ولكنه كان يعرف الشخص المناسب تمامًا الذى يمكن اللجوء إليه ليجعل فكرة الانتقال عبر الفضاء الأعظم فى كتابه "اتصال Contact" يأخذ صورة أكثر إقناعًا من الناحية العلمية .

كان هذا الشخص هو كب ثورن من كالتك ، وقد راقت له الفكرة حتى أنه كلّف اثنين من طلبة الدكتوراه لديه، ميشيل موريس Michael Morris وألفى يورتسفر Ulvi Yurtsever أن يضعوا شيئًا من التفاصيل لما يعرفه النسبويّون باسم "ثقوب الديدان wormholes " فى ذلك الوقت من الثمانينات كان النسبويّون مدركين منذ أمد بعيد أن معادلات النظرية النسبية العامة تسمح بمثل هذا الاتصال عبر الفضاء العظيم . إن ذلك فى الواقع هو جزء متكامل مع حل شفارتزشلد لمعادلات آينشتاين ، وقد اكتشف آينتشاين نفسه ، خلال عمله فى برنستون مع نوثان روزن Nothan Rosen

أن حل شفارتزشلد يمثل فى الحقيقة ثقباً أسوداً يعمل كمعبر بين منطقتين من زمكان مسطح ، "معبر آينشتاين – روزن Einstein - Rosen bridge" ، يتعلق ذلك بوجود مجموعتين من الحلول للمعادلات، على ما قدمناه فى الفصل الخامس. ولكن قبل أن يُخرج ساجان الموضوع إلى الضوء مرة أخرى ، كان من المستقر أن هذا النوع من الاتصال ، خلال طرق مختصرة عبر الفضاء الأعظم ، ليس إلا ضرباً من الخيال ليست له قيمة عملية على الإطلاق .

واكتشف موريس ويورتسفر أن هذا الظن خاطئ ، فعن طريق البدء بنهاية المشكلة، قاموا بتشكيل هندسة لزمكان يناسب مطلب ساجان ، يحتوى على ثقب دودة يمكن عبوره مادياً عن طريق البشر ، بعد ذلك راجعوا قوانين الفيزياء، ليعرفوا ما إذا كان فيها ما يمكن أن يساعد فى إنتاج هذه الهندسة ، ولدهشتهم البالغة، ومع ابتهاج ساجان الشديد، وجدوا ضالتهم ، (يبدو أن ثورن لم يفاجأ بذلك، فيعتقد موريس أنه كان يعرف الحل مسبقا) . الحقيقة أن المتطلبات الفيزيائية بدت مخترعة وغير منطقية ، ولكن ليس هذا بيت القصيد ، المهم أنه لم يوجد فى قوانين الفيزياء ما يمنع من السفر عبر ثقوب الديدان ، لقد ثبت أن روائيى الخيال العلمى على حق، فالاتصال عبر الفضاء الأعظم يقدم بالفعل، على الأقل من الناحية النظرية، وسيلة للانتقال من منطقة لأخرى عبر مسافة شاسعة، دون الاضطرار إلى التخبط لآلاف السنوات خلال الفضاء العادى بسرعة تقل عن سرعة الضوء.

وقد وضعت النتيجة التى توصل إليها العالمان فى شكل صورة زينت غلاف الكتاب، ولكن القليل من القراء من أدرك أنها مؤسسة على آخر ما توصل إليه علم النسبية آنذاك ، منذ ذلك الحين صارت الأبحاث المتعلقة بثقوب الديدان كمعبر لأسفار يمكن أن تتحقق مادياً الشغل الشاغل للكثيرين من العلماء المغرمين بالظواهر الغريبة ، ويبدأ الأمر كله بمعبر آينشتاين – روزن ، ولكن قبل أن نرى إلى أى مدى كانت النتيجة التى توصل إليها ثورن ورفاقه مفزعة، علينا ألا ننسى أن ثقوب الديدان لم تكن ، كما وصفها ساجان عام ١٩٨٥ ، سوى نتائج رياضية خيالية ، ليس لها أساس من الواقع المادى بالمرة .

معبر آينشتاين :

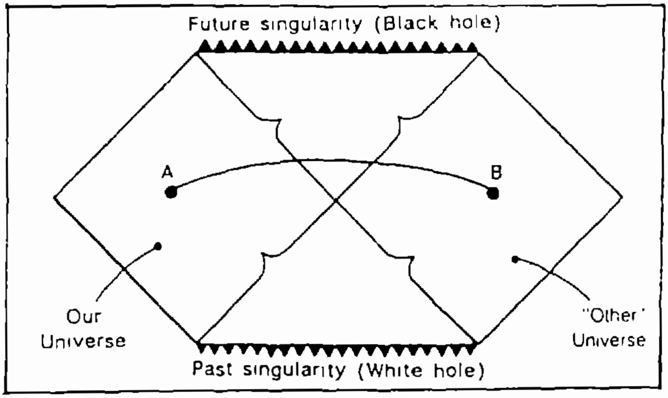
من أكثر الأمور إثارة فى تاريخ العلم أن يُعلم أن ثقوب الديدان كانت محط دراسة مفصلة منذ أمد أبعد بكثير من الوقت الذى أُخذت فيه الثقوب السوداء بجدية . فإلى

تاريخ يرجع إلى ١٩١٦، أى أقل من سنة على وضع آينشتاين لمعادلات النسبية العامة، أدرك عالم استرالى هو لودفيج فْلَم Ludwig Flamm أن حل شفارتزشلد ينبئ عن ثقب دودة يصل بين منطقتين من الزمكان المسطح ، أى بين كونين ، وتدافعت الآراء حول هذا الموضوع لعدة عقود تلت، كان أكثرها شهرة أعمال هرمان وايل Hermann Weyl فى العشرينات (كان وايل رياضيًا ألمانيًا درس فى جامعة جوتنجن، معقل ريمان، وتخصص فى الهندسة الريمانية) ، وآينشتاين وروزن فى الثلاثينات ، وجون هويلر فى الخمسينات ، ولكن اهتمامهم لم يكن منصبًا على تلك التى تسمح بعبورها، كما يذهب الخيال العلمى (وتسمى ثقوب الديدان الضخمة، أو المايكروسكوبية) .

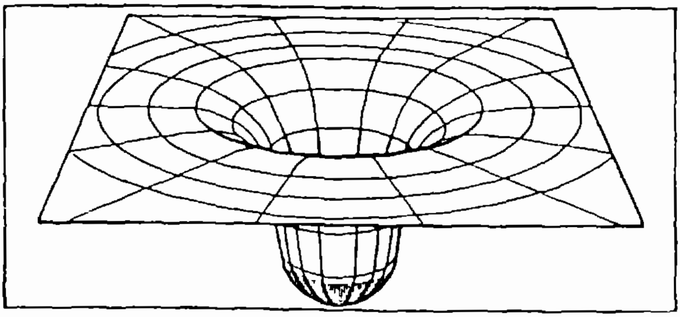
وقد بدأ اهتمام الناس بثقوب الديدان أول الأمر عند التفكير فى طبيعة الجسيمات الأولية مثل الإلكترونات ، فلو كان الإلكترون يوجد فى نقطة بالمعنى الحرفى، لكان أفضل تشبيه لوصف الزمكان حوله هو باستخدام "مترى" شفارتزشلد ، كامل مع ثقب دودى غاية فى الضآلة (سمى ، لسبب واضح، بثقب دودة ميكروسكوبى) ، يصل إلى كون آخر . وقد فكر المنظِّرون فى احتمال أن تكون كافة الجسيمات الأولية ما هى إلا ثقوب ديدان، وأن تكون الشحنات التى تحملها هى بسبب خطوط مجال كهربى آتية من الكون الآخر ، وراقت مثل هذه الأفكار لآينشتاين وغيره من النسبويين ، وهم المهتمون بوصف نسيج المادة بناء على فكرة الجسيمات ، والتى هى فى النهاية نتاج تشوه الزمكان ، عندئذ يكون كل شىء قد فُسِّر بواسطة النسبية العامة. ولكن أملهم لم يتحقق، وإن كانت فكرة قريبة من ذلك (كما سنبين فى الفصل الثامن) قد أثارت ضجة حامية فى التسعينات ، فما توصل إليه النسبويون فى ذلك العصر المتقدم هو أن ثقوب الديدان لا تقدم وسيلة للعبور بين الأكوان .

وتُفهم المشكلة بصورة أيسر عن طريق شكل بنروز (شكل ٦-١) ، فثقب شفارتزشلد يمكن تمثيله على هذا الشكل كخط واصل بين جانبى الشكل ، ولكنك تلاحظ أن أى خط من هذا القبيل يتعارض مع أحد الأسهم التى لا تسمح بحركة ضدها ، إذ يعنى ذلك تجاوز سرعة الضوء. ثم إن هناك مشكلة أخرى، وهى أن تلك الثقوب غير مستقرة ، فلو تخيلت "ندبة" فى الزمكان تكونت بفعل جرم كالشمس ضغط إلى قطر شفارتزشلد المقابل له ، لحصلت على شكل كالمبين فى (شكل ٦-٢) ، والشىء المدهش فى هندسة شفارتزشلد أن الكتلة لو انكمشت إلى قطر شفارتزشلد، فلن

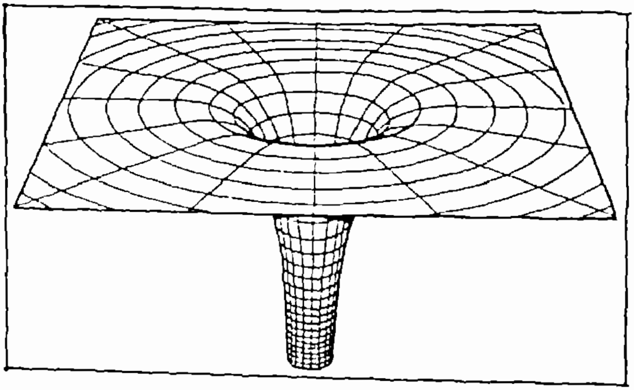
تحصل فقط على حفرة لا قاع لها، كما فى (شكل ٦-٣) ، بل سوف تنفتح على منطقة أخرى من الزمكان المسطح (شكل ٦-٤) ، ولكن هذا الممر الذى يُغرى بعبوره لن يدوم إلا لجزء من الثانية ، فلو أنك ألقيت نظرة على شكل بنروز مرة أخرى، لأمكنك أن تأخذ شرائح خلال الشكل تقابل لحظات متتالية من الزمن (الماضى فى أسفل الشكل والمستقبل فى أعلاه) ، يرسم لها شكل الزمكان المشوه بالندبة . يبدو من ذلك كيف يتكون العنق من تشوهين متقابلين ، ينموان إلى أن يتصلا ببعضهما البعض ، بعد ذلك يتباعد التشوهان إلى أن ينفصلا مرة أخرى . ولجرم فى كتلة الشمس تستغرق عملية تكوين الثقب الدودى من حالة الانفصال الأولى نتيجة مفردة الماضى إلى تكوُّن العنق كاملاً إلى الانفصال الثانى نتيجة مفردة المستقبل حوالى جزء من عشرة آلاف جزء من الثانية ، طبقًا للتوقيت داخل المفردة . فالثقب الدودى لا يسمح حتى بمرور الضوء خلاله قبل أن ينغلق مرة أخرى ؛ إن المحصلة النهائية هى أن الجاذبية تعوق الاتصال بين الأكوان .



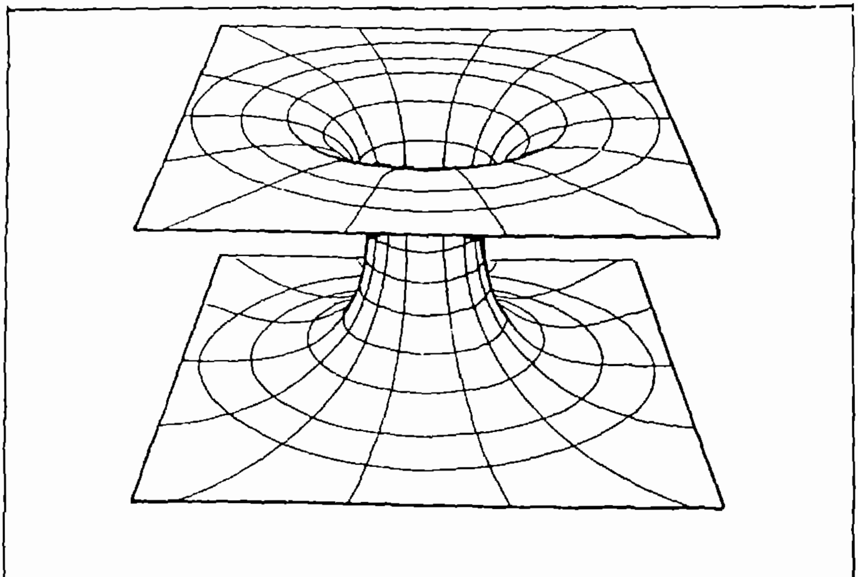
(شكل ٦-١) لكى يتم الانتقال بين كون وآخر، يمر الإنسان عبر الصفحة، فتتعارض حركته مع اتجاه الأسهم التى تمنع الحركة ضدها .



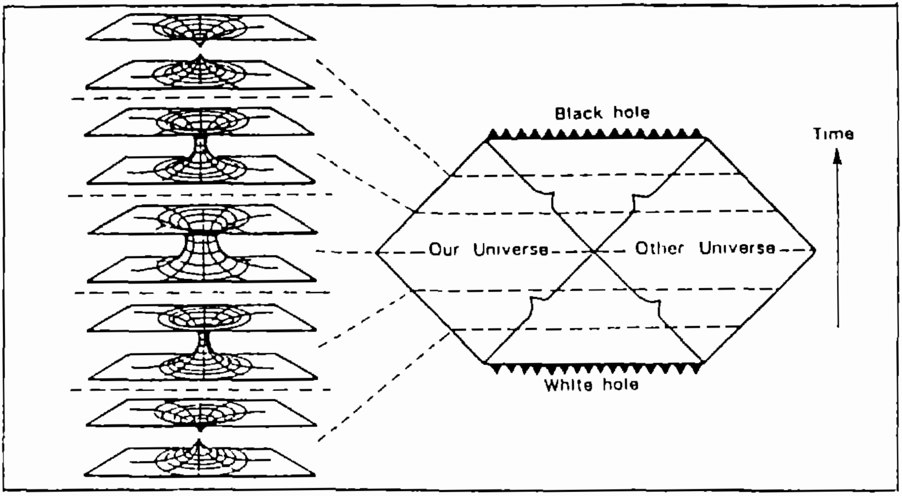
(شكل ٦-٢) تأثير جرم على الزمكان .



(شكل ٦-٣) ينظر دائما للثقب على أنه حالة متطرفة من الشكل السابق، بحيث يعمل ثقباً فى الزمكان بالمعنى الحرفى .

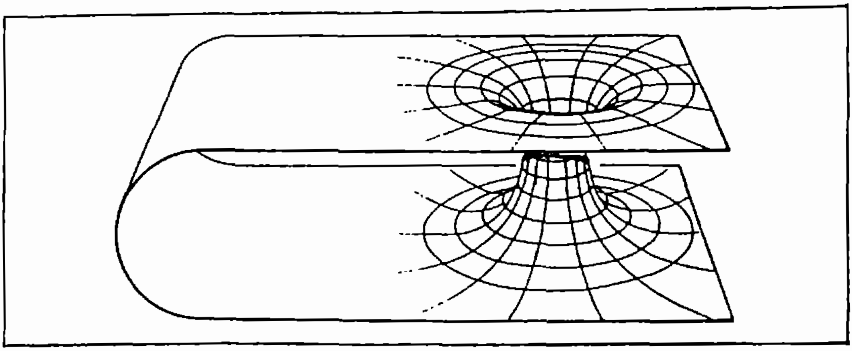


(شكل ٦-٤) ولكن تذكر أن هناك نسخة أخرى من الزمكان متضمنة فى المعادلة، فالثقب الأسود هو عادة عنق ، أو ثقب دودى، يصل بين كونين .

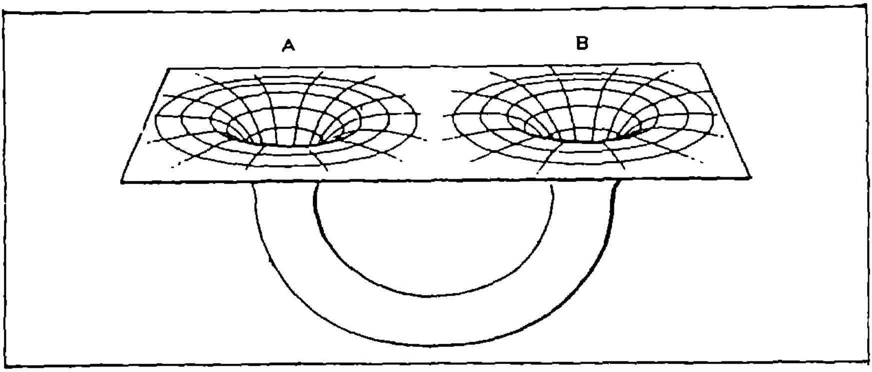


(شكل ٦-٥) العيب في الشكل السابق أن الاتصال يزول لحظيًا ، فمع مرور الوقت ينشأ الثقب الدودى ثم يكتمل ثم ينغلق مرة أخرى فى غضون جزء من الثانية لدرجة أن الضوء نفسه لا يجد فرصة للمرور بين الكونين .

لعل هذا محبطٌ للإنسان ، ذلك لأن العنق يبدو ملائمًا ليس فقط للعبور بين الأكوان، بل بين مناطق من كوننا ، فالفضاء قد يبدو مسطحًا بالقرب من فتحتى العنق، ولكنه منحنٍ برقة على البعد من الثقب الدودى، بصورة تجعله بالفعل طريقًا مختصرًا داخل مناطق الكون (شكل ٦-٦) . لو تصورت انفراد الكون بأكمله ليكون مسطحا فيما عدا بالقرب من الثقب الدودى فسوف تحصل على (شكل ٦-٧) ، وفيه يصل ثقب دودى منحنٍ بين منطقتين منفصلتين تمامًا من الكون . ولا تنخدع بأن المسافة بين فتحتى الثقب تبدُو أقصر على الفضاء المسطَّحَ عما هى خلال الثقب الدودى ، فالمعالجة بمفهوم الزمكان رباعى الأبعاد تبين أنه حتى الثقوب الدودية المنحنية يمكن أن تكون طريقًا مختصرًا بين النقطتين "أ" و"ب".



(شكل ٦-٦) لو أمكن إيجاد طريقة لاستبقاء الثقب الدودى مفتوحًا ، فقد يكون وسيلةً للانتقال عبر الكون.



(شكل ٦-٧) الثقب الدودى فى هذا الشكل يُعتَبر طريقًا مختصراً فى الأبعاد الأربعة حتى ولو بدا أطول .

يمكن على الأقل أن يقوم الثقب بهذه الخدمة لو لم ينغلق فى لمح البصر، واحتاج الانتقال عبره إلى التحرك بأسرع من سرعة الضوء ، وتنبع المشكلة الثانية من كون أن مفردة المستقبل فى شكل بنروز لثقب شفارتزشلد الأسود تقع في خط أفقى، فتجعل أى شىء يعبر أفق الأحداث يصطدم بها لا محالة ، ولكن هذه ليست نهاية القصة فيما يتعلق بالاتصال عبر الفضاء الأعظم ، فثقب شفارتزشلد لا يحمل أية شحنة كهربية، وليس دوّاراً ، ومن المثير أنه حينما يُضاف أى من هذين العنصرين ؛ الشحنة أو الدوران، فإن طبيعة المفردة سوف تتغير، فاتحة مجالا للعبور خلال الكون، وبسرعة أقل من سرعة الضوء .

شحن خلال الفضاء الأعظم :

لا يعتقد أحدٌ كثيراً فى احتمال وجود الثقوب السوداء المشحونة ؛ فلو أن ثقبا أسود كوّن لنفسه شحنة موجبة مثلا، لتعادل على الفور عن طريق اقتناص جسيمات سالبة كالإلكترونات ، وطرد أية جسيمات موجبة يجدها فى طريقه كالبروتونات ، ومن جهة أخرى فلا يعتقد أحد كثيرا فى عدم دوران الثقوب السوداء ، فبالتأكيد يجب أن تكون كذلك . ومع ذلك ، فقد يكون من المناسب بحث حالة ثقب أسود مشحون وساكن، حتى مع استبعاد هذا الفرض ، وبيان كيف يقدم طريقة لإنشاء معبر عبر الأكوان ، بهذه الطريقة بدأ النسبويون بحثهم لهذه الظاهرة. وأيضا، مرة أخرى ، قبل أن يجف المداد الذى كتب به آينشتاين معادلات النسبية .

ويُعرف وصف نسيج الزمكان بالقرب من ثقب أسود غير دوَّار بهندسة رايسنر–نوردشتروم ، ولكن على عكس آينشتاين وروزن، لم يعمل رايسنر ونوردشتروم معا . فقد كان لهاينرك رايسنر Heinrich Reissner فضل السبق فى هذا المجال، بأن نشر بحثًا فى ألمانيا عام ١٩١٦ الجاذبية الذاتية للمجالات الكهربية فى مضمار نظرية آينشتاين، ثم أكمل الفنلندى جونار نوردشتروم Gunnar Nordstrom بحث الموضوع عام ١٩١٨ . ومرة أخرى ، يسهل فهم الموضوع من خلال رؤية النسبويين القياسية، شكل بنروز .

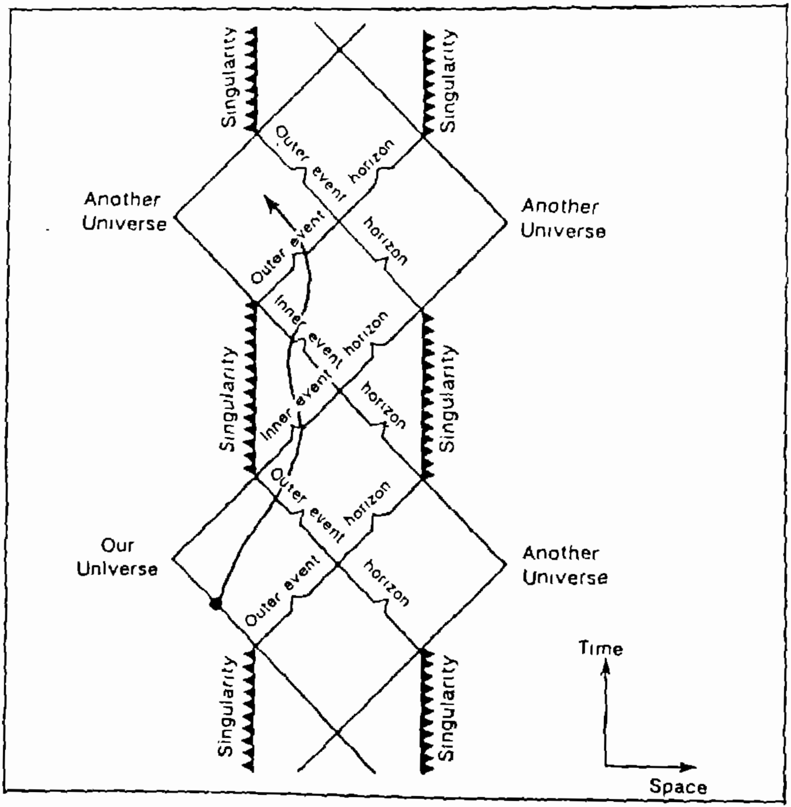
إن إضافة شحنة كهربية للثقب الدوار تمده بقوة مجال ثانية، تُضاف للجاذبية ، ولكن لأن الشحنات المتشابهة تتنافر (الموجبة مع الموجبة والسالبة مع السالبة) فإن قوى المجال الكهربى تعمل عكس عمل الجاذبية، تحاول أن تفجر الثقب أشلاء بدلا من ضم شمله بقوة ، ويعنى ذلك وجود أفق أحداث آخر خاص بالمجال الكهربى داخل الأفق الخاص بالمجال الجنبى .

وما يعنيه هذا بالمدلول المادى هو وجود سطحين كرويين متداخلين، يحيطان بالمفردة ، كل أفق يعتبر موضعًا لتوقف الزمن من وجهة نظر مراقب خارجى. ويكون نصف قطر الأفق الخارجى أقل قليلا من مثله لثقب غير مشحون ، فى حين يتناسب قطر الثانى مع مقدار الشحنة الكهربية ، فيكون أبعد عن المفردة حين تكون الشحنة كبيرة . ومن ناحية المبدأ ، لو كانت الشحنة بحيث يتطابق الأفقان، فإنهما يتفانيان، لتُترك المفردة عارية ، ولكن هذا الوضع غير مُتصوَّر عمليًا. ومع ذلك فإن هندسة رايسنر–نوردشتروم لا يوجد فيها مكان لرقيب كونى، والأكثر من ذلك، فإن مسافرًا جسورًا يقترب من المفردة لن تجذبه إليها، بل ستطرده عنها، ممثلة شيئا مثل الجانبية العكسية.

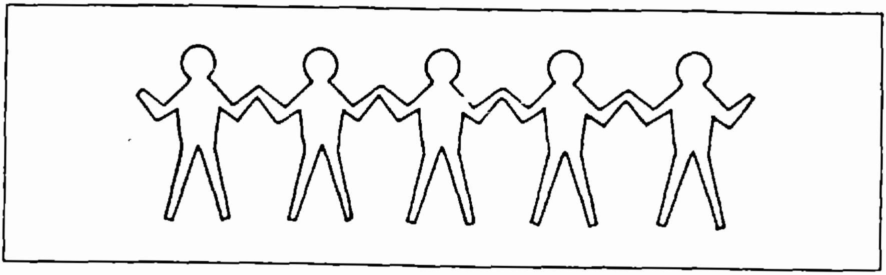
ولكن حتى هذا لا يمثل إلا بداية العجائب للثقب المشحون، تذكر أنه بمجرد عبور أفق الأحداث فى ثقب شفارتزشلد فإن الفضاء والزمن يتبادلان الأدوار ، ونتيجة لذلك لا يكون الخط الكونى للمفردة خط نقطة فى الفضاء تتحرك رأسيًا مع الزمن، بل يكون خطا أفقيًا يملأ الفضاء بأكمله، ومن ثم لا يكون هناك مفر من الوقوع فيها . ولكن حين تعبر أفق الأحداث فى هندسة رايسنر–نوردشتروم، فإن انعكاسًا ثانيًا للأدوار سوف يحدث، حين تعبر الأفق الثانى، فيعود الخط الكونى للمفردة رأسيا (شكل ٦–٨) ، فى هذه الحالة يمكن للملاح الماهر تحاشى الوقوع فى المفردة ، متحركًا بأقل من سرعة الضوء ، وأن يستدير ليعبر أفق الأحداث مرة أخرى خارجًا من الثقب ، ففى نفس الوقت التى تحاول الجاذبية فيه غلق الأبواب بين الأكوان ، يفتحها المجال الكهربى على

مصراعيها. ولكن مفهوم الاتجاه الواحد لا يزال ساريًا ، إذ لا يمكن للمسافر العودة من حيث جاء ، فهو لا محالة متجه إلى منطقة أخرى من الزمكان ، يشار إليها عادة بأنها كون آخر ، فمحاولة الرجوع تستدعي ، كما هو واضح من الشكل ، التحرك بأسرع من سرعة الضوء .

حتى هذا ليس نهاية القصة ، أعد النظر إلى (شكل ٦-٨) ، تجده مفتوحًا من الناحيتين، معطيًا الفرصة لعدد لانهائي من الأكوان ، يطلق علي هذه الخريطة عادة اسم "طوبولوجيا العرائس الورقية "paper doll topology"، حيث تُمثِّل الأكوان المتتابعة بعرائس متشابكة الأيدى إلى مالا نهاية كالمبين فى (شكل ٦-٩) .



(شكل ٦-٨) خريطة الزمكان لثقب أسود مشحون كهربيًا ، تبيِّن كيف يربط بين عدة أكوان (أو عدة مناطق فى الكون). فلأن المفردة قد أصبحت رأسية، فإنه يمكن تحاشيها والتنقل بين كون والآخر .



(شكل ٦-٩) تمثل خريطة مجموعة من الأكوان بمجموعة لانهائية من العرائس الورقية متشابكة الأيدى .

كل هذا صحيح من ناحية المبدأ، ولكن حيث إن الثقوب السوداء المشحونة لا توجد فى كوننا، فإن الأمر ينحصر فى الغرابة والإثارة ، عدا شىء واحد، إن دوران الثقب يعطى تأثيرات شبيهة للثقب المشحون ، وعلى وجه الخصوص ، فإن عزم دوران الثقب يُضاد الجاذبية أيضاً ، ويدفع بأفق الأحداث الداخلى بعيداً عن المفردة ، فاتحاً الأبواب أمام الأكوان الأخرى . وعلى العكس من الثقوب المشحونة، فإن الثقوب الدوارة موجودة بالفعل ، كما أن للثقب الدوار خصيصة يتميز بها ، وهى أن المفردة ليست نقطة ، بل حلقة يمكن للمغامر أن يقتحمها، ويعيش بداخلها ليروى ما يحدث ، وإلى أن تقدم ساجان لثورن بطلبه البرىء، كان هذا أقرب ما توصل إليه الرياضيون لوصف السفر المقنع خلال الثقوب الدودية الكبيرة .

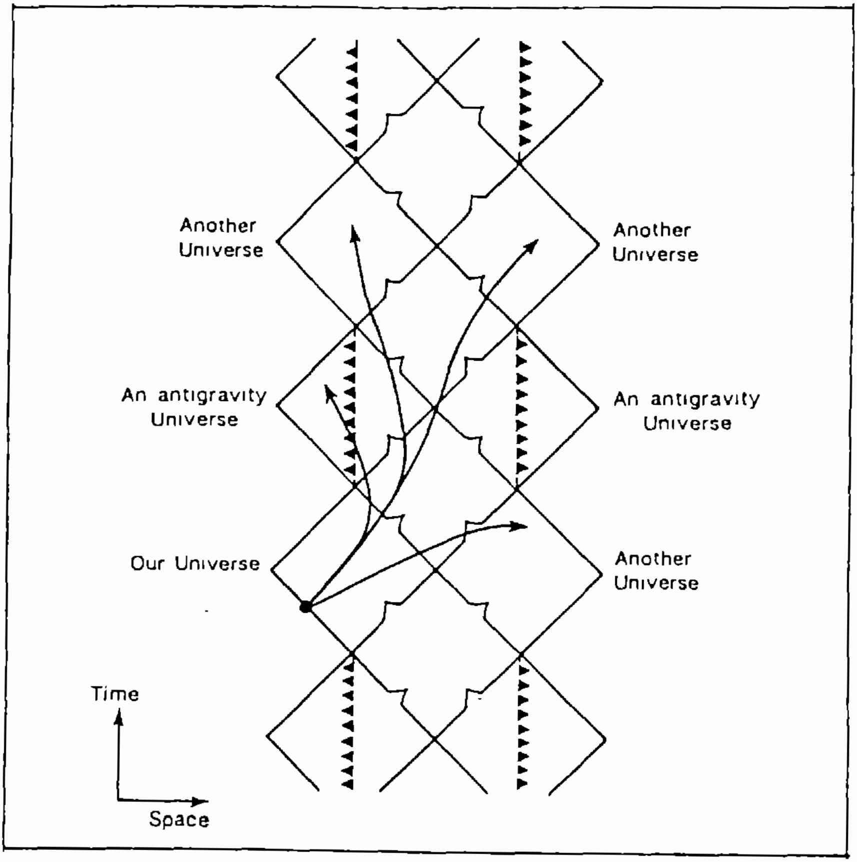
وصل الأكوان :

ينبعج أفق الأحداث الداخلى للثقب الدوار مثل انبعاج كرة الطاقة لثقب كِر، عند خط الاستواء دون القطبين ، لقد عقد هذا شكل الزمكان حول ثقب كر ، وهو ما يفسر طول المدة التى استغرقت لحل معادلته . ولكن الثقب المشحون متماثل فى الأبعاد، وبالتالى أكثر سهولة ، ولذلك فبمجرد أن وضع كر معادلته عام ١٩٦٣ ، ليسمح بإضافة تأثير الدوران ، أصبحت إضافة تأثير الشحن الكهربى أيضاً أمراً مباشراً إلى درجة كبيرة ، وقد قام بهذا العمل إرزا نيومان Erza Newman فى جامعة بتسبرج عام ١٩٦٥ .

ويصف هذا الحل - والذى يعرف بحل كر-نيومان - الزمكان حول ثقب دوار، مشحون كهربيا . فإذا ما وضعت الشحنة تساوى صفرا فى هذا الحل، تحصل على حل كر للثقب الدوَّار غير المشحون ، وإذا ما وضعت الدوارن فيه يساوى صفرا، تحصل على حل رايسنر-نوردشتروم للثقب المشحون الساكن ، وإذا وضعتهما معا مساويين للصفر ، تحصل على حل شفارتزشلد للثقب الساكن غير المشحون. فحل كر-نيومان لمعادلات آينشتاين تتضمن كافة الخصائص المتصوَّرة للثقوب السوداء، الكتلة والشحنة وسرعة الدوران . وفى توافق مع مبدأ عدم الملامح للثقوب السوداء، فإن هذا يمثل الحل النهائى للمعادلات ، على الأقل فيما يخص الثقوب السوداء ، وحيث إن الثقوب المشحونة غير متصورة عمليًا ، فسوف نركز على الأعاجيب المتاحة حرفيًا للثقوب الدوارة غير المشحونة .

أولا ، المفردة الحلقية . بفرض التزامنا بالشروط المعتادة للكتلة وحجم حلقة المفردة (بحيث لا يتمزق المغامر إربًا بفعل القوى المدّية) يمكن للمغامر أن يقتحم الثقب من أحد أقطابه ثم يواصل مباشرة خلال الطوق الذى صنعته المفردة. وبمجرد أن يفعل ذلك، فإن العالم ينقلب رأسًا على عقب . تقول المعادلات إن حاصل ضرب المسافة فى قوة الجاذبية فى هذا العالم يكون مقدارًا سالبًا . ويمكن أن يُترجم ذلك بأن تكون الجاذبية عادية تمامًا ، ولكن الفضاء يكون هو السالب ، وهو أمر يشق على النسبويين إعطاء مدلول له . ولهذا السبب يميلون للتركيز على الاحتمال الآخر ، وهو أن الجاذبية تكون هى العنصر السالب ، فيتعرض المغامر لقوة تنافر لا تجاذب، فيعمل الثقب كثقب أبيض لا أسود.

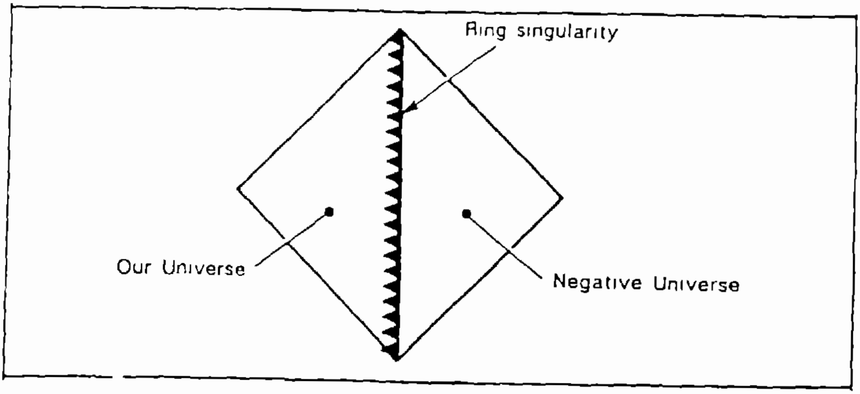
ذلك مضمون قاس على التصور، ولكن هناك ما هو أقسى بالنسبة للمعادلات التى تتحدث عن الجاذبية المنعكسة ، فالمغامر الذى يغوص فى الحلقة ويظل قريبًا منها دائرًا حول مركز الثقب الأسود على بعد مناسب يجد نفسه ماضيًا فى زمن معكوس. ووجه الرحمة الوحيد بقوانين الفيزياء التقليدية أمام هذا الاحتمال يتمثل فى عدم إمكانية الرجوع إلى نفس الموضع الذى كان فيه المغامر، بالضبط كما شاهدنا فى هندسة رايسنر-نوردشتروم (شكل ٦-١٠) . فيمكنك بمعنى معين أن تصل إلى الكون التالى "قبل" مغادرتك الأول ، ولكن ليس ثمة من وسيلة أن تتصل بنفسك هناك لتخبرها عما وجدته فى المستقبل .



(شكل ٦–١٠) خريطة الزمكان لثقب أسود دوار ، يتشابه بقدر كبير مع الثقب المشحون، ولكن يتضمن عنصراً إضافياً، الجاذبية السالبة . أ– رحلات مسموح بها . ب– رحلات ممنوعة .

ومع ذلك ، فكما رأينا فى حالة ثقب مشحون بشحنة كافية لأن يتطابق أفقا الأحداث، فيتفانيا تاركين المفردة عارية ، يحدث نفس الشيء للثقب الدوًار بسرعة كافية ليطيح بأفقى أحداثه معرياً مفردته ، ولكن تظل المفردة فى هذه الحالة على شكلها الحلقى. لن يكون متاحا فقط أن يسافر المرء خلالها، بل أن يراقبها من بعد عن طريق تلسكوبات جبارة .

ولكن لو قام الإنسان بالسفر خلال الحلقة إلى منطقة الكون السالب، فلن يتعذر عليك الرجوع من حيث أتيت. وشكل بنروز لهذه الحالة غاية فى البساطة ، كونان أحدهما موجب والآخر سالب ، بينهما المفردة الحلقية ، كما هو موضح (بشكل ٦-١١) ، يمكنك فى هذه الحالة من حيث المبدأ أن تقترب من المفردة من أية نقطة فى الزمن أو فى الفضاء فى أحد الكونين ، وتتجول خلالها فى طريقة مناسبة ، ثم تعود بالضبط لمكانك الأول، ولكن قبل مغادرتك له . إن مفردة كهذه لو كانت موجودة فى الكون ، فإن السفر من نقطة جلوسك الآن إلى أية نقطة فى الفضاء ، وإلى أى زمن ؛ ماضٍ أو حاضر أو مستقبل، سوف يكون متاحًا ، فقط لو عرف الإنسان الطريق الصحيح الذى يتخذه ، ويتم كل ذلك دون الاضطرار للسفر بسرعة أكبر من سرعة الضوء.



(شكل ٦ - ١١)

بالطبع قد تموت بسبب التقدم فى العمر خلال الرحلة، ولكن ليست هذه هى النقطة الأساسية ، فمعادلات النسبية تتيح بالفعل السفر عبر الزمن، ولهذا فليس من عجب أن يتمنى الفيزيائيون من كل قلوبهم لو وجد الرقيب الكونى ، وحيث لا تبدو بادرة لهذا ، فإن العزاء الوحيد هو أنه ليس من المحتمل أن يدور ثقب بالسرعة المطلوبة للتخلص من أفقى أحداثه.

لندع الآن الخصائص الغريبة للمفردة الحلقية، ونركز مرة أخرى على الخريطة العامة لثقب كرٍ. إن هندسة هذه الخريطة تشبه طوبولوجيا العرائس الورقية لهندسة رايسنر-نوردشتروم ، فبتجاهل الكون السالب ، يمكننا أن نمثلها (بالشكل ٦-١٠) ،

ولكن مع تخفيف النتوءات الممثلة للمفردة الحلقية، ليدل ذلك على عدم حدتها كما فى المفردة النقطية.

الخط النهائى لهذه الحسابات، حتى مع التجاوز عن أفكار الجاذبية السالبة ومناطق الزمن السالب، أن الأجرام التى يعرف الفيزيائيون قطعًا بوجودها، كالثقوب السوداء الدوارة التى يعتقد أنها مغذيات الطاقة لأشباه النجوم، تتيح بالفعل السفر خلال الفضاء الأعظم إلى أكوان أخرى ، فكيف يُترجم ذلك ؟ هل يوجد حقًا طبقات من الزمكانات تعلو بعضها البعض إلى ما لا نهاية ، (مهما كان تفسير ذلك)؟ من المقبول أيضًا فى سياق معادلات النسبية العامة أن نقول إن كل هذه الطبقات هى جزء من كوننا ، والذى يقوم فيه الثقب الدوار بخدمة الاتصالات بين مناطق الفضاء الأعظم، على الصورة التى شرحتُها سابقًا عن الثقوب السوداء ، فالثقب الأسود يصل بين نقاط الفضاء ، ليس مرة واحدة ، بل مرات عديدة، مُقدِّمًا معبرًا إلى مناطق أخرى فى أزمان أخرى ، فالكون الآخر الذى خرجت منه بعد رحلة كالمبينة (بشكل ٦–١٠) هو كوننا، ولكن قبل مليون عام (أو بعد مليون عام) . إن هذه الأفكار قاسية على فكرنا البديهى لدرجة أن العلماء شعروا بارتياح إلى حد ما حين قدمت حسابات عام ١٩٧٠ احتمالاً بأن الجاذبية الحقيقية للكون الواقعى بما يحتويه من أفق أحداث ومفردات يغلق هذه المعابر فى الفضاء الأعظم قبل أن يمر أى شىء فيها ، يبدو أن ثقوب الديدان لا توجد إلا فى كونٍ خاوٍ ، وبالتالى لا يوجد ما يمر خلالها .

حزمة من انزياح أزرق :

هذه المشكلة المتعلقة بثقوب الديدان عُرفت بدايةً عن طريق الرياضيين الذين درسوا الثقوب البيضاء ، ويبدو أن واحدًا منهم على وجه الخصوص، هو دوجلاس إيردلى Doglas Eardley قد نجح فى بداية السبعينات بصورة قاطعة فى إثبات أن الثقوب البيضاء لا يمكن أن توجد فى كوننا . كان ذلك مصدر إحباط لى، إذ إنه جذب البساط من تحت تفسير منطقى بعض الشىء لكيفية تكوُّن المجرات على أساس نظرية وضعها العلماء السوفييت فى الستينات، أعجبتُ بها أشد الإعجاب، لدرجة تأليف كتابٍ عنها[1] .

(١) كان اسمه ، وهو أمر منطقى تمامًا : Whit holes .

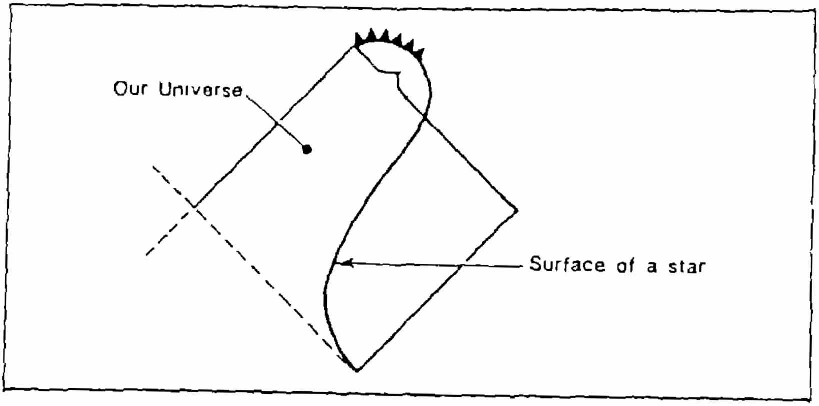
وقد كان أشهر من ساهم فى إحياء فكرة الثقوب البيضاء فى الستينات إيجور نوفيكوف Igor Novikov . كان مغرماً بالشواهد المعلقة بالانفجارات النشطة فى الكون ، مثل الأنشطة المصاحبة لأشباه النجوم . وإلى ذلك الحين لم يكن أحد قد بحث باستفاضة الطريقة التى تتولد بها الطاقة نتيجة وقوع المادة فى ثقب أسواد هائل الكتلة ، ثم ترتد خارجه من قطبية[١] ، وقد تساءل الكثير من العلماء عن احتمال أن يكون الثقب الأبيض أيسر فى شرح هذه الظاهرة من الأسود . وقد اقترح نوفيكوف أنه بدلاً من أن نتصور الانفجار العظيم قد حدث فى مفردة لحظيًا ، أن تكون أجزاء من المفردة قد تأخرت عن الانفجار شيئًا ما . إن انفجار هذه «البذور المتأخرة lagging cores» يمكن أن يبث مادة فى الكون بنفس الصورة التى نراها اليوم من أشباه النجوم . والأكثر من ذلك ، فإن جاذبية تلك البذور ، حتى قُبيل انفجارها ، يمكن أن تجمع حولها من مادة السديم الكونى ما يمكن اعتباره نويات لتكون المجرات فيما بعد . هذا للأسف مجمل التفسير الذى عصف به إيدلى ، ولنبدأ بيان السبب بإلقاء نظرة على شكل بنروز .

كما يتحدث النسبويون عن الثقوب السوداء والبيضاء ، يتحدثون أيضًا عن "الثقوب الرمادية grey hols" . فالثقوب السوداء هى التى يسقط فيها المادة والإشعاع ، ولا يخرج منها شىء البتة ، والثقوب البيضاء تنفث المادة والإشعاع ، ولا يمكن لشىء أن يسقط فيها البتة ، أما الثقب الرمادى فهو جرم يمكن للمادة والإشعاع أن ينفثا منه ، ليرتفعا إلى مسافة معينة من أفق الأحداث له ، ثم يعودا إليه مرة أخرى[٢] ، ولا تنس أن هذه الثقوب الثلاثة تفسر على أساس مفردتين ، واحدة فى الماضى والأخرى فى المستقبل . ويبين شكل ٦-١٢ حقيقة أن هذا القول مؤسس على مثالية رياضية صرفة ، فالشكل يبين الوضع الواقعى لانهيار نجوم ضخمة الكتلة إلى ثقب أسود . فالزمكان يوصف فعليا بدقة بواسطة حل شفارتزشلد فى المنطقة فوق (أو خارج) سطح النجم ، أما النجم ذاته فيجعل جزءا لا بأس به إلى اليمين من مخطط الزمكان بلا معنى . فقط حين ينهار النجم يتحقق "مترى" شفارتزشلد بذاته فعلاً ، وتكون لمفردة المستقبل فقط إمكانية الوجود ، فللنجم الواقعى لا توجد مفردة للماضى ، ولا أفق أحداث له يمكن لشىء أن يخرج منه . فمن بين العناصر الثلاثة للموضوع، ليس سوى الثقب الأسود ما يمكن أن يتحقق واقعيًا.

(١) شرح ذلك فى كتاب شاركت فى تأليفه مع مارتين ريس Martin rees ، الفلكى الذى وضع النموذج لذلك ، بعنوان "مصادفات كونية Cosmic Coincidence" .

(٢) لو صحت الفكرة القائلة بأن الكون سوف يعود بعد الاتساع الناتج عن الانفجار العظيم إلى الانكماش إلى مفردة فى الانسحاق العظيم ، فإن معنى ذلك أننا نعيش فى ثقب رمادى .

وطبعًا يُمكن لثقب دوار بسرعة كافية أن يخلق ثقب كِر الأسود، والذى يعطى معْبَرا لأكوان أخرى، بحيث أن المادة المنهارة في كوننا تبثَ فيها من خلال مفردة الماضي كثقب أبيض ، ولكن هناك بعض الصعوبات أمام هذا التصور أيضا. الأولى متعلقة بإشعاع هوكنج .



(شكل ٦-١٢) سبب الإحباط: الثقب الأسود الذى يتكون فى زماننا ليس له مفردة ماض، حيث إن مفردة المستقبل هى ما تتكون من انهيار النجم . يلغى هذا الاحتمالات المثيرةَ للسفر عبر الفضاء والزمن ، مالم توجد طريقة اصطناعية لفتح عنق الثقوب الدودية .

فالمفردة التى تقع أفقية عبر مخطط الزمكان فى المستقبل (تسمى هذه المفردات الأفقية "فضائية النزعة "spacelike"لأنها تشمل كل الفضاء، ولكن فقط للحظة من الزمن) لا تعانى من تبعات التبخر الذى قال به هوكنج. فمن وجهة نظر تلك المفردة، يقع الزمن برمته في الماضى، ولا يوجد مستقبل يحدث فيه ذلك الإشعاع (مع الافتراض دائمًا بأن الزمن غير قابل للانعكاس، وهو افتراض لا يزال يدور حوله بعض الجدل) ، أما المفردة فضائية النزعة المتعلقة بالماضى فيمكن أن تنتج الجسيمات من خلال عملية هوكنج، بغزارة قد تصل إلى أن تفنى معها هى نفسها. هذه الجسيمات مآلها بطبيعة الحال أن تُملأ داخل الثقب، فتتجمع بلا مندوحة لتصنع مفردة مستقبل فضائية النزعة .

ولا يغير ذلك فى الحقيقة من ثقب شفارتزشلد كثيراً، وإن كان يُلقى بعض الضوء على ما يحدث داخل الثقب، والذى كان يُظن دائمًا ألا يضم شيئا جديراً بالاهتمام. المأخذ الوحيد يحدث حين نطبِّق نفس المنطق على المفردة الرأسية (زمنية النزعة timelike) المصاحبة للثقب الدوار. فقبل كل شىء، إن حقيقة أن هذه المفردة هى مفردة مستقبل أديرت لتصبح زمنية النزعة هو ما يجعل من ولوج مركبة للثقب ثم الخروج منه للوصول

لكون آخر، دون أن تسحقها الجاذبية، أمرًا محتملاً من حيث المبدأ. ولكن إذا ما تبخرت المفردة زمنية النزعة ذاتها في عملية هوكنج ، فما الذي يحدث لكل الجسيمات التي أُنتجت ؟ مرة أخرى ، كما يذهب بعض الرياضيين كأبسط تفيسر للمعادلات ، سوف تتجمع لتكوين مفردة فضائية النزعة ، تسد الطريق أمام الأكوان الأخرى .

ويجب عليّ أن أصرح بعدم اقتناعي بكل هذا الجدل. إن الخصيصة الرئيسية لبخر هوكنج، في صورته الأصلية، أنها تتضمن عمليات تحدث عند أفق الأحداث، بحيث عندما تُخلق أزواج من الجسيمات، تفر البعض منها مبتعدة، بينما تُمتص قرائنها داخل الثقب في حالة من الطاقة السالبة . وليس واضحًا تمامًا أن هذا يمكن أن يحدث داخل أفق الأحداث ذاته ، ومع ذلك فإن رياضيين أعلى مني منزلة يأخذون هذا الجدل مأخذ الجد ، وإذا كان من حقهم هذا فإن معناه أن العمليات الكمّية توصد الباب الذي تفتحه النظرية النسبية للأكوان الأخرى ، وحيث لا يوجد تحت أيدينا نظرية شاملة تجمع بين النظريتين، فإنه يمكن القول بأن هذا لا يمثل القول الفصل في الأمر. ويمكننا أن نرى كيف أن نتائج حاسمة للغاية يمكن أن تنقلب رأسًا على عقب بالنظر فيما قام به إيردلي ، والذي بدا وقت الإعلان عنه أنه قد وضع سحابة كثيفة على احتمال وجود الثقوب البيضاء، حتى على أساس من النظرية النسبية.

إن النقطة الجوهرية التي أظهرها بنظرته الواقعية لانهيار النجوم هي ضرورة الأخذ بالتوزيع الواقعي للمادة خارج النجم، وليس الاعتماد على معادلات منمقة تصف الزمكان المنحني ، ولا تثور مثل هذه المشاكل حين نصف الانفجار العظيم ذاته، حيث لم يكن ثمة "خارج" ، وبالتالي لا يوجد مادة أو طاقة في الخارج تشغل بالنا. ولكن بالنسبة للبذور المؤجلة يختلف الأمر ، فلقد سبق أن نوهت بأنه من بين الأشياء المثيرة في عمل نوفيكوف تفسير ظهور المجرات خلال تمدد الكون . نقطة الضعف هي أن هذه البذور سوف تمسك بالمادة ، بل وبالضوء ، بشدة أكثر من اللازم . تذكر أن الضوء الفار من سطح الثقب الأسود يعاني انزياحًا أحمر لدرجة فقده لكل طاقته ، فهو انزياح أحمر لانهائي. ولكن الضوء الذي يلج الثقب يكتسب طاقة ، وحين يعبر أفق الأحداث يكون قد حدث له انزياح أزرق لانهائي ، ولا يهمنا هذا الأمر ، طالما أن الشعاع محبوس داخل الثقب (وإن كانت له تداعيات مثيرة سوف أتعرض لها في الفصل الثامن) ، ولكن فكر فيما يحدث لثقب أبيض، في كون واقعي يتكون بالفعل من مادة وطاقة ، يحاول أن يخرج من المفردة .

إن القلب المتمدد للثقب الأبيض سوف يحوز حقلاً جذبيًا مساويًا تمامًا لمماثله من الثـقب الأسـود، وعلى ذلك فـإن المادة والطاقـة سـوف تتكدس فـوقـه آتيـة من الكون الخارجى ، حتى مع محاولة الثقب الأبيض أن يتمدد للخارج . والمشكلة أشد حدة على وجه الخصوص بالنسبة للبذرة المؤجلة المتخلِّفة عن الانفجار العظيم ، حيث كانت وقتها محاطة بجحيم مستعر من الطاقة يمكنها أن تتغذى عليه . ولكن إيردلى بيَّن أن الكون اليـوم به أيضًـا كمٌ هـائلٌ من الطـاقـة، فـقط فـى ضـوء النجـوم، يمكن أن يحـدث نفس التكدس عند أفق الأحداث. وقبل كل شىء، فـإذا كـان الانزياح الأزرق لانـهـائيـا، فـإن أدنى كمية من طاقة تلج الثقب كافية لأن تتسبب فى مشكلة الانزياح الأزرق. وتتمثل هذه المشكلة اليوم فيما يسمى بظاهرة «الحائط الأزرق[١] blue sheer » ؛ حائط يحيط بالثقب، به من الطاقة الهائلة ما يكفى لأن يحنى الضوء الزمكان فى ثقب أسود يحيط بالأبيض. وكما عبر عن ذلك نِك هربرت Nick Herbert – الفيزيائى – من ستانفورد "إن كونًا كالذى نعيش فيه يضم من الطاقة والمادة ما يكفى لخلق حوائط زرقاء تخنق أى ثقب أبيض وليد فى مهده". وتشير الحسابات إلى أن عملية الخنق هذه لأية بذرة مؤجلة تحاول أن تنشط من جديد اليوم لن تستغرق أكثر من جزء من ألف من الثانية.

لم تُحل إلى الآن بصورة نهائية المعادلات متناهية الصعوبة التى تصف تفاعل الحوائط الزرقاء مع ثقوب الديدان ، ولكن بنهاية الثمانينات كان الكثير من الفيزيائيين يعتقدون أنها تقف عائقا ضد الاتصال بين الأكوان. ولك أن تتخيل مدى دهشتهم حين بيَّنت الدراسات فى بداية العقد التالى مباشرة أن هذا الظن ليس صحيحًا .

اقتحام الحائط الأزرق :

لم يقم بهذا العمل أحد قبل أن ينشط ثورن وزملاؤه لتحقيق مطلب ساجان ، ولكن النتيجة تترتب أيضًا بصورة منطقية من عمل إيردلى ، ومن ثم فإنه من المعقول أن نبدأ به، ولكنى أعد بأن أعود لمنظور الخيال العلمى ، لنرى أية حقائق مثيرة تمخَّضت عنه .

(١) الترجمة الحرفية "الستارة الزرقاء" ، ولكن الستارة لا يمكن أن تكون من القوة المطلوبة لحجب الثقب الأبيض كما سيرد – المترجم .

بيَّن إيردلي أن مشاكل الحوائط الزرقاء تنشأ فى الكون الواقعى لأنه بالإضافة إلى الأخذ فى الاعتبار انحناء الزمكان نتيجة للمفردة ، يجب أيضًا أن ندخل الطريقة التى بها يتفاعل الزمكان المنحنى مع الطاقة والمادة فى الكون الخارجى . ولكن كيف يتم ذلك التفاعل ؟ لقد افترضت هذه الدراسات أن الزمكان خارج الثقب الأبيض أو الأسود مسطَّح ، وهو فرض يقترب من الحقيقة بالنسبة لمناطق من الفضاء على مستوى نظامنا الشمسى أو مجرة درب التبانة ، لدرجة أخذها كحقيقة مسلم بها ، فهى أول خطوة فى عملية التقريب للواقع . ولكنها قد لا تكون الحالة على مستوى الكون بأسره ، فمعادلات أينشتاين تُبيِّن أن الاحتمال بعيد أن يكون الكون مسطحًا ، بل إما على شكل سرج مفتوح أو منغلق على شكل كرة . وقد بين باحثون أنه لو كان كرويًا (وهو الأمل المحبذ لدى أغلب الفلكيين لأسباب سنعرض لها فى الفصل الثامن)، فإنه من المحتمل أن توجد ثقوب فى قصة الحوائط الزرقاء، حتى وإن لم تكن فى الحوائط ذاتها .

رحلة فى الفضاء الأعظم :

بسبب سهولة التعامل مع حل رايسنر- نوردشتروم عن حل كِر، فإن التركيز إلى الآن ينصب على تصرف ثقب مشحون فى نموذج رياضى مثالى لكون واقعى. ومن المتوقع أن يكون بالإمكان حمل النتائج التى يتم الوصول إليها إلى ثقب كر الدوار، ولكن الدراسات لا تزال مبكرة، ومن ثمة فالاحتمال قائم أن يحمل إضافة الدوران المزيد من المفاجآت. وتنشأ مشكلة الحوائط الزرقاء بالنسبة للتصور القديم (بكلمة القديم نعنى قبل ١٩٨٨) عند أفق الأحداث الداخلى، والذى يطلق عليه أيضًا «أفق كوتشى Cauchy horizon» ومن الممكن شرحها على أساس فيزيائى كنتيجة لجلوس مراقب عند ذلك الأفق يرى المستقبل اللامحدود للكون الخارجى فى حيِّز الزمن المحدود لتوقيته ، ولكن لنفرض أن الكون الخارجى ليس له مستقبل لامحدود! ماذا لو أنه محدود، ولكن بلا حدود، كسطح الكرة ؟

دُرس هذا الاحتمال بصورة أساسية بواسطة فلستى ميلور Filcity Mellor أثناء عمله مع إيان موس Ian Moss الأستاذ السابق لهوكنج وبول ديفز Paul Davis الذى كان وقتها أستاذًا فى نيوكاسل ولكن استقر به المقام فى جامعة إدليد باستراليا . لقد بحثوا فى الوصف الرياضى للثقوب الدودية المصاحبة لثقب أسود مشحون فى هندسة

كون منغلق ، له بذاته أفق أحداث كونى ، بعبارة أخرى، كان عليهم التعامل مع ثلاثة أفق أحداث ؛ اثنان للثقب وواحد كونى . كما تضمنت النماذج خصيصة أخرى أيضاً ، متعلقة بالثابت الذى وضعه آينشتاين لكى يجعل الكون الذى تصفه معادلاته ساكناً . ولكن هذا الثابت فى صورته الجديدة لم يدخل لهذا الغرض، بل يهدف إلى العكس تماماً، لشرح كيف يمكن للكون أن يتمدد على الرغم من الجاذبية المفرطة للمفردة الأولية . فهو يعمل على حافة تلك الفترة المبكِّرة من عمر الكون كنوع من الضغط المقاوم للجاذبية ، يسمح للكون الوليد أن ينموَ من حجم أقرب لنواة الذرة إلى حجم ثمرة جريب فروت فى غضون جزءٍ من الثانية، ثم يذوى تاركا الكون يواصل تمدده .

تُسمى مرحلة هذا التمدد السريع بمرحلة «التضخم inflation»، وتمثل عنصراً أساسيًا فى رؤية العلماء الحاليين للانفجار العظيم . وأصبح لزاما إعادة الحسابات المتعلقة بالثقوب الدودية مع وجود هذا الثابت الكونى. فى مثل هذه التصورات يكون الفضاء الذى لا يحتوى على مادة مركزة قريبا من المسطح، ويطلق عليه "فضاء دى سيتر "de Sitter space"، إلا أنه بالنسبة للزمكان ذاته فلا يزال منحنيًا انحناءً طفيفًا يمكنه من الانغلاق على نفسه . فالزمكان أشبه بثقبين أسودين على طرفى النقيض من الكون ، وقد بيَّن ميلر وموس أنه فى هذه الظروف يمكن للكون أن يحتوى على العديد من الثقوب السوداء منفصلة بمناطق تنتمى بدرجة كبيرة إلى فضاء دى سيتر، وأن هذه الثقوب يمكن (لو شُحنت) أن تتصل عن طريق ثقوب دودية مستقرة. وفى بعض الأحيان، يمكن لمفردة عارية أن تتكون، متحدية الرقيب الكونى، وأن يسافر المرء بين ثقب والآخر .

وكانت المساهمة الأساسية لبول ديفز فى هذا العمل تتمثل فى إضافة التأثيرات الكمِّية. فكما بيّن هوكنج بكل حماس فى بداية السبعينات ، يمكن لتلك التأثيرات أن يكون لها وقع خطير على سلوك الثقوب السوداء، وكان من الطبيعى أن يثور التساؤل حول أن تعيق تكون الثقوب الدودية. ولكن كلا ، ففى عام ١٩٨٩ بيّن ديفز وموس أن أخذها فى الاعتبار لثقب أسود مشحون فى كون مغلق ، لن يمنع تصور المروق خلال الثقب إلى كون آخر ، كما أنه لا التأثيرات الكمية ولا الثابت الكونى يمنعان الثقوب الدودية القابلة للعبور عن التكون، وأن حلول «ميلر وموس» يمكن أن تقدم معابر حقيقية بين الأكوان .

كل هذا العلم متعلق بالخصائص الطبيعية للكون، ثقوب سوداء متكونة بصورة طبيعية، كمثل تلك المرتبطة بأشباه النجوم ، أو متخلفة عن التكدُّس الهائل للانفجار العظيم ذاته ، فلو أنه أمكن للرياضيات أن تعمم ذلك إلى الثقوب الدوّارة ، فإن ذلك يعني أن اتصالات الفضاء الأعظم يمكن أن تتحقق في كوننا .

هندسة ثقوب الديدان :

لم تزل هناك مشكلة يجب على مهندس ثقوب الديدان الحريص الانتباه إليها. إن أبسط الحسابات تقترح أنه مهما كان ما يحدث خارج الكون، فإن المسار الحقيقي لمرْكبة عبر الثقب (أو بالأحرى محاولة المرور عبره) يجب أن تؤدِّي إلى غلق بوابة النجم على التو . إن المشكلة هي أنه حتى مع التجاوز عن عملية تكدُّس الإشعاع من الموجات الراديوية أو الضوئية للمرْكبة عند المفردة مكونة حائطًا أزرق ، فإن أي جسم يكتسب تسارعًا يؤدي، طبقًا للنظرية النسبية، إلى اهتزازات في نسيج الزمكان تسمى "موجات الجذبية gravitational waves" . هذه الموجات تُبث في الفضاء من ثنائيات النجوم النابضات ، مما يستنزف طاقتها ويؤثر على مسارها تأثيرًا ملموسًا ، مما يعتبر أصدق دليل إلى الآن على دقة النظرية النسبية. فموجات الجاذبية المتقدمة على المركبة في دخولها الثقب ، سوف تتضخم بصورة لانهائية عند اقترابها من المفردة ، محنية الزمكان حولها بما يغلق الباب أمام المركبة ، فحتى لو وجدت ثقوب ديدان طبيعية ، فإنها سوف تكون غير مستقرة لأدنى اهتزاز ، بما في ذلك اهتزازات من يحاول المروق خلالها.

ولكن ثورن ورفاقه وجدوا حلاً لساجان إزاء ذلك، فالثقوب في قصته ليست طبيعية في المقام الأول، بل مُهنْدسة، ويقول في ذلك أحد أبطال قصته :

> يوجد نفق في حل كرِ الصحيح لمعادلة آينشتاين ، ولكنه غير مستقر. إن أقلَ اضطراب سوف يغلقه تمامًا ، ويحيل النفق إلى مفردة لا تسمح بمرور أي شيء على الإطلاق. ولقد تخيَّلنا حضارة متقدمة لدرجة إمكانها أن تتحكم في طريقة انهيار النجم لتحافظ على استقرار النفق ، وهذا أمر بالغ الصعوبة ، فعلى تلك الحضارة أن تراقب الثقب وتتابعه على الدوام .

ولكن النقطة هى أن ذلك وإن كان صعبًا إلا أنه ليس مستحيلاً ، فيمكن تنفيذ ذلك عن طريق عملية تسمى "التغذية المرتجعة السالبة negative feedback" ، تُمكِّن من إزالة الاضطرابات التى تلحق بثقوب الديدان عن طريق خلق اضطرابات مضادة تمامًا لها. هذه العملية هى عكس عملية التغذية المرتجعة الإيجابية positive feedback التى نألفها حين يصدر مكبر الصوت (الهورن) صوتًا مزعجًا ، وذلك بسبب توجيهه إلى لاقط الصوت (الميكروفون) . فى هذه الحالة فإن أقل شوشرة يلتقطها لاقط الصوت تدخل جهاز التكبير الإلكترونى، فتخرج مكبَّرة من مكبِّر الصوت، فيلتقطها لاقط الصوت فتكبر ثم تذاع مكبرة، وتتوالى العملية إلى أن يضج الناس من شدة الضوضاء. تصور لو أن جهاز التكبير الإلكترونى كان مبرمجًا بحيث يصدر موجة صوتية مضادة تمامًا للشوشرة الملتقطة ، إن عملية تغذية الشوشرة بين اللاقط والميكروفون تكون بحيث يلاشى بعضها أثر بعض . بنفس المنطق يمكن لتلك الحضارة المتقدمة أن تنتج بصورة ما ترددات مضادة تمامًا لموجات الجاذبية ، تزيلها قبل أن تغلق الثقوب الدودية .

ولكن من أين تأتى تلك الثقوب بادئ ذى بدء؟ لقد وصل فريق ثورن إلى طريقة تخالف تمامًا ما درج عليه القوم قبلهم فى التفكير بشأن الثقوب السوداء . فبدلا من أن تكون نقطة البداية لديهم هى بحث ما يصير لجرم من أجرام السماء، كنابض أو شبه نجم، بدءوا برسم هندسة تتيح خلق ثقب دودى قابل للعبور، ثم عادوا القهقرى بالمعادلات لمعرفة أى شكل من أشكال الطاقة والمادة كفيل بتحقيق هذه الهندسة ، وحين نسترجع الحوادث نجد أن ما وصلوا إليه كان أمرًا عجبًا ، لقد كان المطلوب خلق مجال ينتج نوعًا من القوة الطاردة ، أو الضغط السالب .

ويردد ذلك صدى ما يبتغيه العلماء من الثابت الكونى، ألا وهو الحفاظ على تمدد الكون فى مراحله الأولى. ولسوف أعود إلى بيان الرابطة بين الأمرين حالاً ، فالعامل الحرج للحفاظ على ثقب دودى مفتوحًا هو أن يمارس ضغطًا سالبًا أكبر من طاقة الكتلة للجرم الذى يكوِّن الثقب الأسود ، أو بعبارة أخرى قوة طاردة[١] تلاشى أثر جاذبيته داخل الثقب الدودى ذاته . فلخلق ثقب باتساع عدة كيلومترات (فى حدود نجم نيوترونى تقريبًا) يتطلب الأمر خلق ضغط سالب يفوق الضغط داخل النجم النيوترونى.

(١) يطلق عليها antigravity ، وقد ترجمت حرفيًا فى قاموس أكاديمية "جاذبية مضادة ، تمسكًا بمدلول البادئة anti بأنها «مضاد» ، وهو مصطلح غامض يتضمن تناقضًا ، ومن ثم نفضل أن نسميها بمدولها الصحيح ، (وقد فسرت المادة فى ذات القاموس بأنها قوة طاردة ، وقد كان بالأحرى التحرر من الترجمة الحرفية) - المترجم .

وليس من عجب أن يطلق العلماء على المادة التى تتيح خلق هذا الضغط «المادة الشاذة exotic matter»[1] . وقــد بيَّن فـريـق كـالتـك أن أى ثقب دودى قـابل للعـبـور يُصـمَّم هندسيًا يجب أن يحتوى على مثل هذه المادة. وقد كان من شأن عمل موريس وميلر أن يخـفف من هـذا المطلب القـاسى ، إذ أن عـملهم قــد بيَّن إمكانيـة وجـود ثقـوب دودية طبيعيــة دون اشتراط هــذه المادة . ولكــن بما أن الحضارة المتقدمة لا تضمن وجود ثقـوب دوديــة طبيعيــة حيـث يشــاؤون ، فـلا منـدوحة إذن مــن الاحتياج للمادة الشاذة .

إن وجود الضغط السالب فى كوننا، والذى ينتظر خلقه من المادة الشاذة، أمر لا يخطر على بالنا بالتأكيد ، أليس كذلك ؟ ولكن رويدًا ، قد تكون مـخطئًا فى ذلك . لعلك تذكر أن بخر هوكنج يخلق حالة من طاقة سالبة، وهى تعادل نوع الضغط السالب الذى يعمل عند أفق الثقب الأسود ، زد على ذلك أن هناك طريقة أمكن بها بالفعل إنتاج مثل هذا الضـغط السالب وقياسه معمليًا .

إنتاج الضغط السالب :

إن مفتاح اللغز فى قضية القوة الطاردة قد عثر عليه العالم الهولندى هندريك كازيمير Hendric Casimir ، الذى كان مولده فى لاهاى عام ١٩٠٩ ، وأشهر مساهماته العلميـة هى فى موضـوع التوصيل الفـائق، ظاهرة غريبة تفقد فيـها بعض المواد حين تبريدها مقاومتـها الكهربية (كانت الدهشة بالغة لدى العلماء الفيزيائيين والمهندسين أن يكتشفوا أن هذه الظاهرة قد تحدث عند درجات أعلى نسبيًا ، ولكن ليس إلى درجة حرارة الغرفة)[2] . إلى عـام ١٩٤٢ كان كازيمر يعمل فى معـامل فيليبس الجبارة، وبعدها تحول إلى ظاهرة أشد غرابة من التوصيل الفائق ، متضمنة فى قلب النظرية الكمّية[3] ، تعرف اليوم بظاهرة كازيمر.

(١) وجه الشذوذ فيها أنها تولد قوة تنافر بين جزيئاتها بدلاً من قوة الجاذبية التى قال بها نيوتن – المترجم .

(٢) يوجد فى الواقع نوعان من التوصيل الفائق ، ذلك الذى يؤثر على المواد الموصلة كهربيًا ، ويحتاج إلى درجة حرارة تزيد عن الصفر المطلق بدرجات قليلة للغاية ، (أربع درجات مثلاً) ، والنوع الثانى يعمل على المواد غير الموصلة كالخزفيات ، ويمكن حدوثه عند درجة حرارة فى حدود مائة درجة فوق الصفر المطلق – المترجم .

(٣) والتوصيل الفائق أيضًا متضمن فى قلب النظرية الكمية – المترجم .

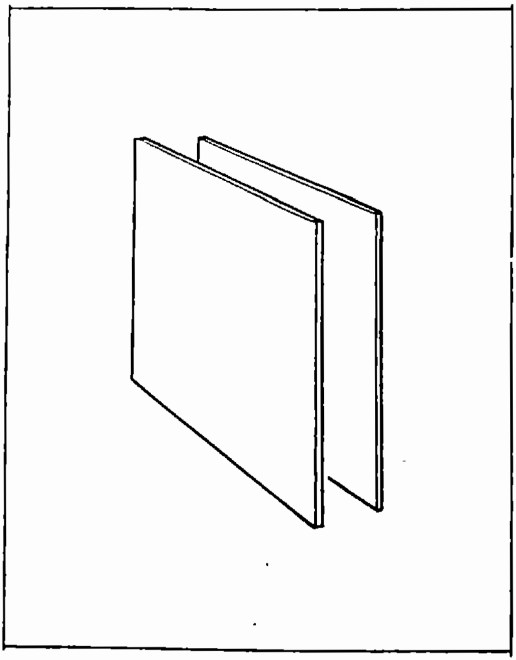
أبسط طريقة لفهم ظاهرة كازيمر هى بتصور لوحين معدنيين متوازيين، على قرب شديد من بعضهما البعض، لا شيء بينهما ، كما هو مبين (بشكل ٦-١٣) . وقد سبق أن بينا أن الفراغ الكمى ليس خواءً خالصاً ، بل يموج بنشاط محموم متمثل فى الخلق والفناء اللحظى لأزواج الجسيمات التقديرية ، من بين هذه الجسيمات الفوتونات، وهى الجسيمات التى تحمل القوة الكهرومغناطيسية ، ومن بينها جسيمات الضوء ، هذه الجسيمات هى أسهل ما ينتج من جسيمات تقديرية ، أولاً لكونها هى نفسها نقيض نفسها ، وثانياً لأن كتلتها صفر ، فلا يتطلب لها طاقة كتلة، وكل ما يتطلب استعارته من طاقة من الفراغ الكمى هو الطاقة التى يحملها الفوتون ، وكما سبق أن ذكرنا فهذه الطاقة تعتمد على تردد الفوتون ، كلما زاد التردد زادت الطاقة ، وعلى ذلك فبإمكاننا تصور الفراغ من وجهة نظر النظرية الكمية كبحرٍ طامٍ من الفوتونات بكل الترددات المتصورة.

إن النشاط الذى تقول به النظرية الكمية يعطى الفراغ طاقة، ولكنها طاقة متساوية فى كل الأنحاء فلا يمكن استغلالها، أو حتى الإحساس بها . فاستغلال الطاقة لا يكون إلا حين يوجد فرق فى مستواها بين نقطة وأخرى ، بحيث تسرى بينهما ، وأبسط مثال لذلك هو الطاقة الكهربية التى تسرى فى منزلك ، فأحد السلكين يكون فى جهد التوزيع (٢٢٠ فولت غالبا) أما الثانى فيكون فى جهد الصفر (موصل بالأرض) ، ولا تستغل الطاقة الناتجة عن فرق الجهد هذا مالم تُوصل الدائرة الكهربية، فتسرى الطاقة مع سريان التيار الكهربى فى الجهاز الذى تنشد تشغيله . إن فرق الجهد هذا هو المطلوب لتشغيل الجهاز، وليس الجهد فى حد ذاته ، فلو فرض وكان السلكان فى جهد متساوٍ ، سواء أكانا فى جهد ٢٢٠ فولت أم ألف فولت ، فلن يسرى التيار بينهما ، ولن يستفاد من الطاقة الكهربية .

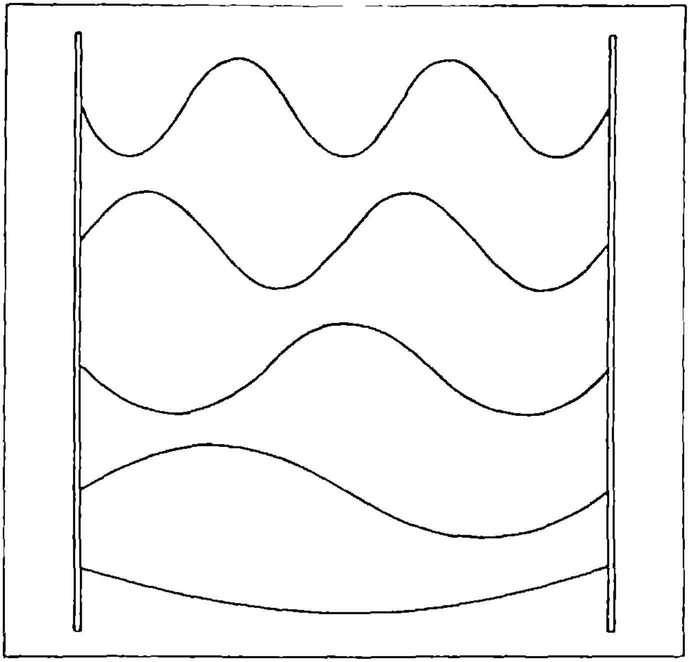
وقد بيَّن كازيمر أن اللوحين يمكن أن يولِّدا أنماطًا محددة من الموجات الكهرومغناطيسية، كمثل وتر الجيتار الذى لا ينتج إلا أنغامًا معينة تعتمد على طوله ، فالأنغام من وترٍ معينٍ للجيتار تولد على أساس أن طرفيه ثابتان لا يهتزان ، ومن ثم فإن النغمة الأولى له تكون المقابلة لأن يهتز بطوله كاملاً. وعند شد أقوى ، يمكن أن يهتز كوترين مثبتين فى المنتصف، وهى النغمة التالية له ، وتكون أحَدُّ صوتا ، ومع كل شد أقوى تنتج نغمات أشد حدة، وتسمى هذه النغمات الأعلى من النغمة الأولى «التوافقيات ,overtones أو harmonic» .

بنفس المنطق بيَّن كازيمر أن الموجات الكهرومغناطيسية التى يمكن أن تُخلق بين اللوحين لا تكون إلا بترددات معينة، تعتمد على المسافة بين اللوحين (شكل ٦-١٤). يعنى ذلك أن بعض الترددات تكون مخمدة ، وهى الترددات التى لا تتوافق مع المسافة بين اللوحين ، بينما تكون الترددات خارجهما مفتوحة لكافة الترددات. معنى ذلك أن كمية الطاقة من الفوتونات التى تخلق داخل اللوحين أقل منها خارجهما، فيتولد ضغط على اللوحين ، أو بمعنى آخر يتولد ضغط سالب بينهما يدفعهما للتقارب، وهو ما أكدته التجربة .

وتتابعت التجارب لقياس الضغط السلبى الناشئ عن ظاهرة كازيمر، بين ألواح مسطحة أو مقوسة ، ومن مواد مختلفة، وعلى مسافات تتراوح بين ١٫٤ إلى ١٥ نانوميتر (النانومتر يساوى جزءًا من ألف مليون جزء من المتر، أى $١٠^{-٩}$ مترا). وكل هذه القياسات طابقت تنبؤات كازيمر تماماً .



(شكل ٦-١٣) تجربة كازيمر لإنتاج ضغط سالب بين لوحين .



(شكل ٦-١٤) بعض الترددات فقط هى المسموح بتولدها بين اللوحين .

كان العالم الذى أغرم بكتابة قصص الخيال العلمى مثل ساجان هو روبرت فورووردRobert Forward من معهد أبحاث هوجز بكاليفورنيا ، بل إن شهرته فى ذلك – على عكس ساجان – تفوق شهرته كعالم ، فهو من كتب عن استخدام المادة المضادة لتوليد قوى دفع للمركبات الفضائية، ووصف شكل الحياة التى تطورت على سطح نجم نيوترونى . بالنسبة لهذا العالِم ذى الخيال الخصب ، فإن توليد الطاقة من الفراغ بناء على ظاهرة كازيمر أمر يسير .

ويتكون تصميم فوروورد لما أسماه "بطارية الفراغ المتذبذب vacuum-fluctuation battery" من لولب من رقائق مصنوعة من الألومنيوم غاية فى دقة السمك ، ومشحونة كهربيًا . وبينما يعمل المجال الكهربى على تنافر هذه الرقائق يحاول تأثير كازيمر أن يشدها إلى بعضها البعض . فلو سمح للوحين بأن يتقاربا ببطء ، فإن الطاقة المتولدة من ظاهرة كازيمر سوف تتسرب ، كما يحدث لجهاز أكورديون عندما ينضغط . وحين يكتمل انضغاط «الأوكورديون» ، فإن النظام يمكن إعادة شحنه من مصدر خارجى، بالضبط كما تشحن البطاريات العادية .

إن هذه البطارية بطبيعة الحال غير عملية بالمرة، ولكن ليس هذا هو بيت القصيد، فهى من الوجهة العلمية مسموح بها ، وقد أكد ثورن ورفاقه أنها تفى تماماً بالغرض فى إنشاء الثقب الدودى المنشود .

على أنه بالنسبة لمثل هؤلاء من ذوى الخيال الخصب، يتبقَّى مشكلتان يواجهان رجال الحضارة المتقدمة فى بناء الاتصالات عبر الفضاء الأعظم، أن يكون الثقب واسعًا بما يتيح العبور خلاله، وأن تحجب المادة الشاذة عن المسافرين . وقد جاء أكثر الاقتراحات وجاهة من مات فيزر من جامعة واشنطون بسانت لويس مايسورى . كان العنصر الرئيسى فى اقتراحه عبارة عن وتر.

سفينة تقاد بالأوتار . أهى اقتراح قابل للتطبيق ؟

لو أن أفكارنا عن نشأة الكون صحيحة، فإن تمدد الكون الذى نشاهده قد نشأ عن انفجار هائل نتج عن ضغط سالب لجاذبية مضادة عنيفة ، يعبر عنه بالثابت الكونى المذكور آنفًا . وقد تباطأت سرعة التمدد إلى القيمة التى هى عليها اليوم حينما ذوت المجالات المصاحبة لذلك الثابت ، آخذة إياه معها إلى الفناء ، ولكن ليس ثمة من سبب وجيه يجعلنا نعتقد أن عملية التباطؤ قد تمت متماثلة فى كافة نقاط الكون الوليد. بل على العكس تمامًا ، قد بيَّنت الحسابات أن التغيرات التى صاحبت التحول من حالة التضخم إلى حالة التمدد المتمهل قد تمت فى أجزاء الكون على استقلال فيما بينها ، وتعرف هذه الأجزاء باسم «النطاقات domains» . إن التحول داخل كل نطاق كان متمثِّلاً ، ولكن تكونت فيما بينها حدود أدت إلى تشوهات فى نسيج الزمكان .

وقد أثبتت الحسابات أن هذه التشوهات تمثل تصدعات فى ذلك النسيج، وتكون على أكثر من صورة، جدران أو أنابيب أو حتى نقاط هندسية لا أبعاد لها. وبناء على هذه القصة فإننا لا نرى مثل هذه الجدران لأنها قد اختفت عن الأنظار خلال المدة الطويلة منذ الانفجار العظيم، أما النقاط فيصعب الإحساس بها تمامًا (وإن كانت نسخة أخرى من النظرية ترى أنها تتجول فى الكون على صورة أقطاب مغناطيسية مفردة، قطب شمالى دون قطب جنوبى، أو العكس). أما بالنسبة للأنابيب فيوجد احتمال قوى أن تكون موجودة فيما بيننا، وأن يكون لها دور معين فى توزيع المادة فى نطاق الكون

تعرف هذه الأنابيب باسم "الأوتار الكونية cosmic strings"، وهى رفيعة بصورة لا يتخيلها العقل، فقطرها ليس إلا جزءا من ألف بليون بليون بليون جزء من السنتيمتر، ورغم ذلك فإن وزن كيلومتر واحد منها يصل إلى وزن الأرض . ولو تصورنا أن وتراً من هذه الأوتار طوله عشرة بلايين سنة ضوئية قد كُوِّر على نفسه، فلن يزيد حجمه عن نواة الذرة، ولكن كتلته تصل إلى كتلة كوكبة من المجرات . ويرى بعض الفلكيين أن وجود أوتار حلقية منها هو ما صنع بذرة تكوُّن المجرات، بسبب قوتها الهائلة فى ضم المادة إليها.

ولكن هذه القوة الهائلة هى خصيصة مرتبطة بالسطح الخارجى لتلك الأوتار، أما فيما يختص بقضية ثقوب الديدان القابلة للعبور، فهى الخصيصة الأقل إثارة، أما الأكثر إثارة فهو ما يجرى داخل تلك الأوتار.

أفضل وسيلة لتصور ما بداخل الأوتار هى ما تحتوى عليه متبقياً من فترة تمدد الكون الأولى. فهى ليست ممتلئة بالمادة، بل بمجالات الطاقة الأولية فى حد ذاتها، وهذه المجالات لا تزال تحمل بصمة الثابت الكونى، الضغط السالب الهائل الذى امتد فى كافة أنحاء الكون فى فترة طفولته المبكرة . وفى حين أن الطاقة فى وتر مطّاط تحاول أن تجعله ينكمش على نفسه، فإن الطاقة فى الوتر الكونى تحاول أن تجعله يتمدد . إن ما فى داخل الوتر الكونى هى المادة الشاذة التى يمكن أن تغطى احتياج أى شىء يتطلبه إنشاء ثقب دودى مستقر .

كانت قفزة مات فيسار فى خياله أن يستغنى عن التماثل الكروى، والذى يلجأ إليه النسبويون عادة لتيسير الحسابات. ففى مقال قدمه لمسابقة علمية (لم يفز فيها، ولكن ناله تقدير من منظمى المسابقة) اعتمد على ما جاء فى كتاب مجموعة ثورن، وصمم هيكلاً لزمكان يسمح بالمرور عبر الثقب الدودى، ثم تصور المكان الملائم لوضع المادة الشاذة لكى تنتج هذا الهيكل . ولأننا نتعامل مع فضاءين ثلاثيى الأبعاد (كونين، أو منطقتين من كون) متصلين ببوابة نجمية ، فإن سطحى بوابتى الدخول والخروج للثقب يجب أن يكونا ذوى أبعاد ثلاثة. ولقد سبق لى أن وضّحتُ ذلك فى معرض الحديث عن الثقوب السوداء، مع احتمال إضافة الدوران لها، مما يجبر السطح الكروى على الانبعاج عند خط الاستواء. ولكن فيسار، وهو مهندس ماهر فى هندسة الفضاء الأعظم

الخيالية، قرر أن يصنع سطحًا مسطّحًا يعبره مسافروه، دون إزعاج من جاذبية قوية، ودون تعرُّض للمادة الشاذة . والهيكل الذى توصل إليه هو مكعب سداسى الأوجه، تُكدس المادة الشاذة على طول حوافه ، فالمسافر الذى يقتحم هذا الزمكان من أحد أسطحه لن يعانى قوى مدّية، ولن يقابل أى شكل من أشكال المادة، شاذة أو معتادة، بل سوف يتابع الخروج والدخول بين المكعبات، ربما لأكوان أخرى، عبر أسطح مسطحة.

ولم يشر فى هذه المقالة إلى الأوتار الكونية، ولا إلى الحسابات التى نشرت فى المقال الرسمى الذى ظهر فى مجلة Phisical Review D. ولكن الذى ظهر فى المقال الأخير هو أن الشد الموجود فى أحرف المكعبات يناظر "وترا تقليديا ذا شد سالب . وبينما يقول إن وترًا كهذا ليس له ميكانزم معروف لإنتاجه فى الوقت الحاضر، يقول إن مثل هذا الميكانزم ربما كان معروفًا فى مراحل ميلاد الكون الأولى . فأين هو المكان الأفضل له الذى يبحث فيه عن المادة الشاذة التى يريدها لأحرف مكعباته ؟

يعتبر أى أمل لإنتاج جهاز كهذا أبعد من إمكانياتنا الحالية بمراحل ، ولكن، كما يؤكد موريس وثورن ، ليس بالأمر المستحيل "فليس فى مقدورنا الآن أن نُلغى تمامًا احتمال السفر عبر الثقوب الدودية" على حد قولهما . ويبدو لى أن ثمة تماثلا هنا يضع عمل الحالمين من أمثال ثورن وفيسار فى سياق نافع ومثير . فمنذ خمسة قرون مضت شطح خيال ليوناردو دا فنشى إلى تخيُّل مركبة تطير فى الهواء ، وصمم الطائرة الحوامة والطائرة ذات الأجنحة ، ويقول مهندسو الطيران أنه كان بإمكانه تصنيعها لو كانت المحركات اللازمة لها موجودة فى عصره ، وفى أقل من خمسة قرون كان حلمه الجسور قد تحقق بأكثر مما تصور هو. قد يتطلب الأمر أكثر من خمسة قرون لتحقيق حلم فيسار، ولكن من وجهة نظر القوانين الفيزيائية فالحلم ليس مستحيلاً ، بل قد تكون حضارة كونية متقدمة قد حققته بالفعل كما يرى ساجان .

على أنّه لو أن تلك الحضارة قد امتلكت الوسائل الفائقة للتحكم فى الأوتار الكونية، وإمكانيات تحديد مكان الوتر المناسب لاستخلاص المادة الشاذّة لبناء البوابة النجمية، فإنه تتبقى مشكلة طريفة، فالوصول لذلك الوتر المطلوب لتحقيق السفر عبر الكونى، يحتاج إمكانية السفر عبر الكونى!

ولكن حتى لو كان لدى تلك الحضارة الفائقة إمكانية السفر عبر الكونى بالفعل، فقد يظل لديها حافز على بناء الثقوب الدودية، فقد ذكر موريس وثورن فى آخر المقال الذى نشراه : «ولقد اكتشفنا أنه من ثقب دودة يمكن لحضارة متقدمة أن تنشئ آلة للسفر إلى الماضى عبر الزمن» . وبعبارة أخرى، فإن كل بوابة نجمية هى أيضًا آلة للزمن .

على أن هذا يُعتبر في الواقع نصف الرواية ،إذ إن هناك طريقًا مستقلاً آخر يمكن لقوانين الفيزياء به أن تتيح إمكانية السفر إلى الماضى، وقد نُشر بحثٌ بهذا الخصوص قبل نشر موريس وثورن لعملهما عن استغلال الثقوب الدودية فى ذلك بخمسة عشر عامًا كاملة. إن النظرية النسبية العامة تخبرنا فى الواقع بأنه توجد طريقتان لتحقيق الآلات الزمنية ، ولننظر لهما بشىء من التفصيل .

الفصل السابع

طريقتان لبناء آلة الزمن

كيف لا يحمل المنطق البديهى أى منطق. تناقض مقتل الجدة وكيف يكون علاجه. قطة شرودنجر ونظرية الأكوان المتعددة. الاشتباك مع الزمن. هل الزمن خداع؟ التايكونات المسافرة عبر الزمن. آلة زمن كونية، وآلة تبلر الزمنية، والأنفاق الزمنية، النمط الأمريكي السوفيتي. البليارد الزمكاني والتواريخ الكونية - إضافة اثنين واثنين (وأكثر من ذلك) بأسلوب رتشارد فاينمان.

يخبرنا المنطق البديهى أن السفر عبر الزمن أمر مستحيل ، كما يخبرنا أنه من الهراء أن نقول بانكماش الأجسام ومط الزمن مع ازدياد السرعة، وأن رائد الفضاء الذى ينطلق بسرعة قريبة من سرعة الضوء يكون عند عودته أكثر شبابًا من توأمه المقيم. إن المنطق البديهى ليس بالشىء الملائم للحكم على الأمور المتعلقة بالقوانين الكونية، وحين يتطرق الأمر إلى السفر خلال الزمن على وجه الخصوص، يجب علينا النظر فيما تقوله تلك القوانين، لا ما يريده منطقنا منها أن تقوله. فإذا ما اتضح أن السفر عبر الزمن أمر ممكن، فإن هذا يتطلب التخلِّى عن بعض مفاهيمنا التى ألفناها، ولكنها لن تكون المرة الأولى بالنسبة للفيزيائيين منذ عدة قرون.

أقصد بالسفر عبر الزمن بطبيعة الحال السفر فى الاتجاهين، عملية معينة تتيح لك أن تنطلق من نقطة ما ثم تعود إليها فى نفس لحظة انطلاقك (أو قبلها)، إن عملية كهذه تسمى «مسار مقفل زمنيا closed timelike loops, CTL وبمفهوم «المنطق البديهى» تصور هذه الأنواع من الأسفار بيانيًا بتخيل ما يحدث للمسافر عبر الزمن لو أنه سافر راجعًا فى الزمن إلى الوراء، واستطاع بصورة ما من تدبير خطة أو تسبب فى غير عمد فى

مصرع جدته قبل أن تحمل بأمه. وبالتالى فلن يُقدَّر له أن يولد، ولن يقدر للرحلة أن تجرى، وبالتالى فلن تقتل الجدة، وستعيش إلى أن تحمل بأمه، فيولد، ... وهكذا.

التضاربات والاحتمالات :

بصياغة أكثر علمية فإن المسارات الزمنية تتناقض مع مبدأ السببية، والذى يقضى بألا تتحقق النتيجة قبل تحقق سببها، فلو أننى ضغطت على مفتاح الإضاءة، فإن الضوء يأتى بعد الضغط وليس قبله. فحتى فى إطار نظرية النسبية، والتى تسمح بأن يرى اثنان من المراقبين نفس الأحداث فى ترتيب زمنى مختلف، فإنها لا تسمح بأن ينعكس ترتيب السبب والنتيجة. ويُقر أغلب الفيزيائيين بأن قاعدة السببية لا يمكن اختراقها، ولكنهم فى الواقع لا يملكون برهانا على ذلك. إن أحداً لم يشاهد بعد اختراقا لهذه القاعدة، ولكن ليس هناك أى شىء فى علم الفيزياء يتطلب أن تكون صحيحة، إنها ليست إلا بديهية حدسية لنا، مصاغة فى رطانة علمية.

كيف إذن تحل مشكلة الجدة المقتولة؟ إن لدينا طريقين راسخين قد تمت مناقشتهما من قبل العلماء والفلاسفة، وأيضاً كُتّاب الروايات الخيالية. الأول أن الماضى لا يمكن تغييره، وقد رسخ فى زمنه، فكل شىء حدث فى الماضى، بما فيها زيارتك لجدتك، قد حدث ولا مجال لتغييره. فمهما كان قصدك من رحلتك، فإن شيئاً ما لن يغير الماضى، فقد تحول أحداث بينك وبين قصدك، كأن تخطئ فى تحديد الهدف، أو تقف مجريات الحوادث بينك وبين لقائها.

وبتعديل طفيف لهذه الرؤية، قد تستطيع تغيير الماضى، ولكن بلا جدوى؛ فإن كنت قد قطعت شجرة، نبتت غيرها على الفور، فلو أنك قتلت جدتك وهى طفلة، فإن جدك يتزوج أختها بدلا منها. وفى روايته «تغيير مجريات الحرب» يحكى فرتز لايبر Fritz Leiber عن مجموعتين يتحاربان، كل يحاول هزيمة خصمه بتغيير المجريات الماضية لصالحه. ومع ذلك، فإن كافة المحاولات تذهب سدى قبل أن تتراكم تأثيراتها على مدى الزمكان - مطيعة ما عبر عنه أحد أبطال قصص لايبنر بأنه «قانون ثبات الحقيقة the Law of Conseration of Reality

إن أكثر أوجه هذا القول إزعاجًا لنا هو مقدار ما يمثله من مصادرة على حريتنا فى الإرادة. فلو أن الماضى محدد بصورة قاطعة فى المسار المغلق للرحلات الزمنية، فربما أن المستقبل أيضاً محدد بصورة قاطعة، ويكون كل إدراكنا بمرور الزمن، بما فى ذلك قرارتنا التى نتخذها، ليست حقيقية إلا بقدر ما تفعله الصور الساكنة حين تبدو

متحركة عند تشغيل الفيلم، ومن شأن فكرة كهذه أن تنزع عن قصة الحياة أكثر عناصرها تشويقاً.

والوسيلة الأخرى لحل تناقض قضية الجدة أكثر إثارة. لقد بات من المستقر أن العالم دون الذرّى تحكمه علاقات مبنية على الاحتمال، فالنواة المشعّة حين تبث مكوناتها، تنقص في مقدار من الزمن نصف كتلتها بالضبط، وهو ما يسمى «فترة نصف العمر half-time period »، وقد أثار القول بخضوع هذه العملية للصدفة البحتة آينشتاين، فقال قولته المشهورة «إن الله لا يقذف بالنرد».

على أن كافة الشواهد تقطع بأن العمليات على المستوى الكمّى تحكمها الصدفة. وقد وضع إيروين شرودنجر[1] dinger Erwin Schr هذه الفكرة في ثوب تجربة ذهنية شائعة ، تعرف بتجربة قطة شرودنجر . يتخيل شرودنجر قطة في صندوق ، به مادة مشعة وعداد جيجر ، وقارورة من السيانيد معلقة في خيط، وجهاز آلي ، فحينما يلتقط العداد إشعاعاً ، يحفز الجهاز الآلي بحيث يتسبب في قطع الخيط فتنكسر القارورة ، باعثة المادة السمية لتقتل القطة .

فإذا ما أغلقنا الصندوق ، وانتظرنا فترة نصف العمر بالضبط ، فإن احتمال تحلل المادة تكون نسبته ١ : ١ بالضبط . هذا عن المادة المشعة ، فماذا عن القطة؟ أهي حية أم ميتة؟ يقول المنطق البديهي إنها يجب أن تكون في حالة من الحالتين . ولكن منطق الفيزياء الكمية يرى في المسألة وجها آخر ، مفاده أن حالتها لن تتحقق إلا حين نفتح الصندوق ، أما قبل ذلك فكل شيء في الصندوق ، بما في ذلك القطة ، يكون في تلك الحالة البينية . وعلى ذلك فإن وصف حالة القطة بمفهوم ميكانيكا الكم - تلك النظرية التي اجتازت بنجاح كل ما واجهها من اختبارات - أنها تجمع بين الحياة والموت .

كيف يكون ذلك ؟ أحد حلول هذا اللغز يؤسَّس على فرضية تعدد الأكوان[2] many-worlds hypothesis تقول الفرضية أن الكون حينما يواجه باختيار

(١) حائز على جائزة نوبل عام ١٩٣٣ مشاركة مع بول ديراك - المترجم

(٢) الترجمة الحرفية تعدد العوالم، ولكن لفظ عالم هنا يقصد به الكون، (ويؤيد النص الأصلي ذلك خلال الشرح)، فتوخينا أن تكون الترجمة معبرة عن المعنى، خاصة وأن فكرة تعدد الأكوان جزء من القضايا التي يعرض لها الكتاب، ولا داعي لإيجاد مصطلحين لنفس الشيء - المترجم

يؤدى إلى احتمالين، فإنه يتبع بالفعل كليهما، منقسمًا إلى كونين (يوصفان بأنهما متوازيان، فى حين أن الوصف الرياضى لهما أنهما متعامدان). وطبقًا لهذا التصور، فإنه حينما تواجه المادة المشعة باحتمال أن تشع أو لا تشع، فإنها لا تكون فى تلك الحالة الغريبة بين الحالتين، مشعة وغير مشعة فى آن واحد، بل ينقسم الكون بالنسبة لها إلى كونين، تكون فى أحدهما مشعة وفى الآخر غير مشعة. وحين تُقدِم على رفع الغطاء فإنك فى أحد الكونين ترى القطة ميتة، وفى الكون الآخر فإنك تراها حية. والكونان كلاهما، بما فيهما من أجهزة وقطة و(أنت)، حقيقى، إلا أن أحدهما لا يعرف شيئا البتة عن الآخر.

إن الوصف الكمى لتعدد الأكوان لا يُؤخذ بجدية بأية حال من قِبل أغلب الفيزيائيين، على أن المثير فى الأمر أنه من بين القلة التى تأخذ به، علماء لَهم وزنهم العلمى الذى لا يُنكر، منهم كب ثورن وستيفن هوكنج (الذى يظن أن بإمكانه تفسير نشأة الكون على أساس هذه الفرضية)، بل إن جون هويلر قد أظهر اقتناعه يومًا ما بهذا الرأى، وإن كان قد عاد وأبدى تشككا فيه. إن هذا الرأى يقدم بالتأكيد حلاً مُرضيًا لمعضلة الجدة، فالذى يحدث حين يقتل المسافر عبر الزمن جدته العجوز المسكينة (أو بالأحرى جدته الطفلة المسكينة)، فإن تفرعًا جديدًا من الأكوان سوف ينشأ، يرتقيه المسافر فى عودته إلى الحاضر، وفيه يكون قد آب إلى كون مخالف تمامًا عن الذى بدأ منه الأحداث.

ولقد بحث الخيال العلمى هذا الاحتمال، وأشهر الأمثلة فى هذا الخصوص رواية Bring the Juilee للروائى وارد مور Ward Moore فبطل القصة يعيش فى عالم مماثلٍ تمامًا لعالمنا، عدا أن فيه قد انتصر الجنوبيون على الشماليين فى الحرب الأهلية الأمريكية، فيسافر فى رحلة إلى الماضى ليدرس المعركة الحاسمة فى تلك الحرب، ثم يخطط تسلسلاً من الأحداث يؤدى إلى قلب نتيجتها، وحين يعود إلى الحاضر فإنه يعود إلى عالمنا نحن، تاركا عالمه الأصلى سائرا فى طريقه المعتاد. كما أن الموضوع قد طرق فى سلسلة الأفلام الشهيرة «العودة للمستقبل Back to the Future».

وعلى ذلك فإن لدينا وسيلتان تتيحان السفر عبر الزمن دون إخلال بمبدأ السببية، أن تكون السببية عائقًا ضد التغيير بالنسبة للماضى، أو بخلق أكوان جديدة تستوعب التسلسل الجديد للأحداث. إلا أنه يوجد أيضًا احتمال آخر غاية فى الغرابة؛ وجود

مسار زمنى مقفل تكون فيه الأحداث هى نفسها سبباً لنفسها (أو إن شئت، حدث بلا سبب)، وهذا الاحتمال أيضا لم يغفل عنه الخيال العلمى.

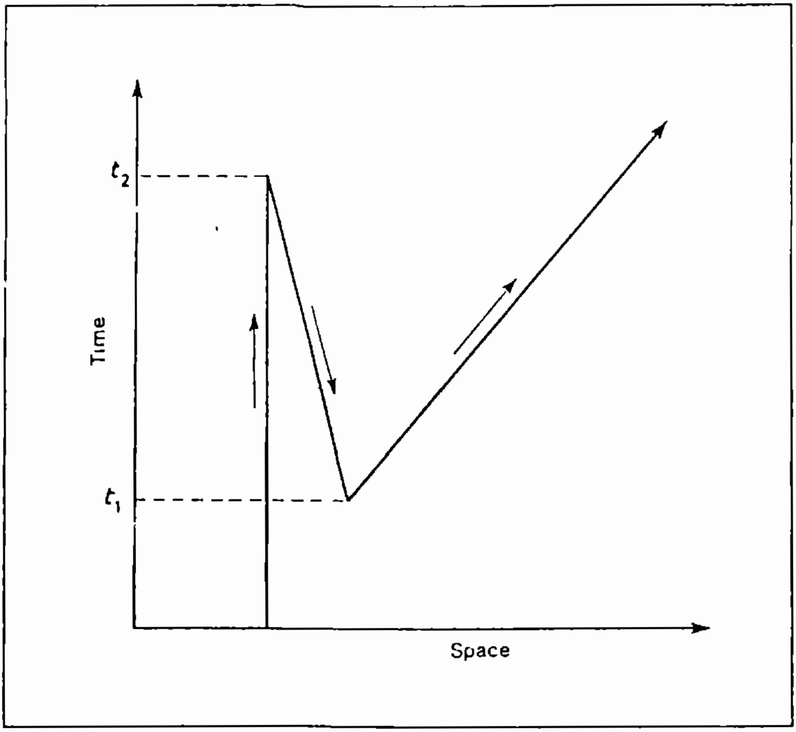
الحلقات الزمنية، والتواءات أخرى :

فى روايته All You Zombies يحكى روبرت هاينلاين Robert Heinlein عن شاب (اتضح فيما بعد أنه مسافر من زمن آخر) قد غرر بفتاة، فوضعت طفلة تُركت للتبنِّى. على أن الفتاة تعانى من مشاكل أدت إلى أن تتحول إلى رجل، يقوم بطل القصة بتشغيلها فى قضية السفر الزمنى، مبينا لها أنها هى نفسها ذاته عند الصغر، وأن طفلتهما هى بدورها ذاتهما معا عند الطفولة. إن انغلاق المنحنى له طرافته، وفى نفس الوقت لا يخالف شيئا من قوانين الفيزياء (وإن كان قد يخالف قوانين البيولوجيا). ولكن ماذا لو أننا تجاهلنا هذه «المؤثرات الخاصة»، وافترضنا أيضًا أنه ما من أحد تصل به الحماقة أن يخلق تناقضاً، كقتل جدته فى طفولتها؟ كيف لنا أن نصف قطعةً بسيطة من رحلة عبر الزمن بلغة العلم الحديث؟

أفضل وسيلة هى أن نستخدم مخططا للزمكان. تخيل مخترعا منكبا على صناعة مركبة زمنية، وما أن ينتهى منها حتى يقفز فيها ضاغطا زر التشغيل، ثم يقوم بالسفر إلى الماضى، ويوجه نفسه خلال الفضاء إلى أن يلتقى بنفسه طفلا، ثم يوقف المركبة ليتبادلا عدة كلمات ينطلق بعدها فى رحلته. إن المخطط المناسب لتصوير هذه الأحداث هو المبين فى (شكل ٧-١) ، والذى فيه قام ريتشارد فاينمان بإجراء تعديل طفيف على مخطط مينكوفسكى ليبين سريان الزمن[١] فلو أنك قطعت نافذة صغيرة فى قطعة من ورق مقوى، ثم وضعتها على المخطط بحيث لا ترى إلا المحور السفلى، فإنك تكون مشاهداً لموضع المخترع عند بدء رحلته. وبتحريكك الورقة لأعلى تتابع الخط الكونى للمخترع يمتد مع الزمن، ولكن فى نفس الموضع، وفجأة، لا تدرى من أين، تجد الصورة القديمة من المخترع قد أطلت عليك، جالسا فى مركبته. ومنذ تلك اللحظة،

(١) لتسهيل تتبع (الشكل ٧-١) ، الخط الرأسى ذو السهم إلى أعلى يمثل حياة المخترع من الطفولة إلى لحظة الانتهاء من صناعة الآلة، فالزمن «ت١» هو زمن معين فى طفولته، والزمن «ت٢» هو لحظة انتهائه من صناعة المركبة، الخط المتجه إلى أسفل هو رحلته للماضى، ثم ركن حرف V هى لحظة التقائه بنفسه وهو طفل، وبعدها ينطلق للمستقبل، ممثلا بالخط الصاعد لأعلى - المترجم

تشاهد ثلاثة مخترعين، أحدهم، الأصغر عمراً، منكب على صناعة المركبة، ثم يتبادل كلمات مع نفسه الأكثر تقدما فى العمر، والثانى، وهو الأكثر تقدما فى العمر، منطلق فى رحلته، أما الثالث فهو فى مرحلة بينية، جالس فى المركبة. ليس هذا فقط، ولكنك بالتحرك لأعلى (يمثل ذلك مرور الزمن) تجد المخترع ينقص عمرا ، فلو كان يدخن سيجارا لرأينا ذلك السيجار يزداد طولا. إن ما فعلته آلة الزمن أنها قلبت مسار الزمن فيما داخلها، ويمثل هذا التأثير بالخط المنتكس نازلاً من أعلى إلى أسفل، معاكساً للخط الكونى الأصلى.



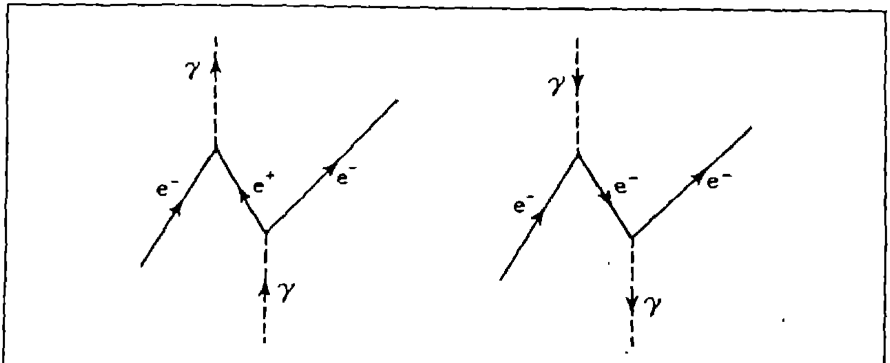
(شكل ٧-١) وضع ريتشارد فاينمان تعديلا لمخطط الزمكان. فى هذا المثال تبين الخريطة كيف أن مسافراً عبر الزمن يكمل مركبته عند الزمن ت٢، ويرحل راجعًا فى الزمن إلى الزمن ت١ ليلتقى بنفسه عند الطفولة، ثم يعود راجعًا إلى المستقبل.

لقد وضعت مخططات فاينمان فى الواقع لتصف تصرفات الجسيمات فى العالم دون الذرى. فمخطط مثل (شكل ٧-١) يستخدم عادة لوصف ظهور زوج من جسيم

ونقيض جسيم (كإلكترون وبوزترون) عند نقطة الالتقاء السفلى للخطين (الركن الأسفل من حرف الـ V) ولقد سبق أن ذكرت أن مصيرهما المعتاد هو الفناء اللحظى، ولكن من الممكن أن يفنى أحد الزوجين مع نقيض له من العالم الواقعى، ومن ثمَّ يترك الفرصة لقرينه للبقاء. ففى حالة كهذه يمكن للبوزترون التقديرى الناشئ عند ركن حرف الـ V أن يلتقى مع إلكترون (يمثل هذا اللقاء بالتقاء الخط المائل لليسار مع الخط الرأسى)(١) تاركا قرينه منطلقًا فى الكون الرحب (ممثل بالخط المائل إلى اليمين).

وقد أثار فاينمان ضجة فى الأربعينات حين أعلن أن هذا المخطط يمكن أيضًا أن يعبِّر عن خط كونى لإلكترون يسير أولا قُدما فى الزمن(٢)، ثم راجعا فيه، ثم قدما فيه مرة أخرى. فالبوزترون، من وجهة النظر هذه، ليس إلا إلكترونًا مرتدًا فى الزمن!

ولستَ فى الواقع بحاجة إلى أن تستثير الجسيمات التقديرية للوصول إلى هذه الخدعة، فأزواج الجسيمات الحقيقية يمكن أيضًا أن تخلق من الطاقة الخالصة، لو وُجد القدر الكافى منها. فعندما يتفانى جسيم ونقيضه، تنطلق الطاقة على صورة أشعة جاما، وبصورة عكسيةٍ فإن قدرًا كافيًا من هذه الأشعة يمكن أن يتسبب فى خلق زوج متناقض من الجسيمات. ومن ثمَّ فإن صورة أخرى من مخطط فاينمان تكون على (شكل ٧-٢) .



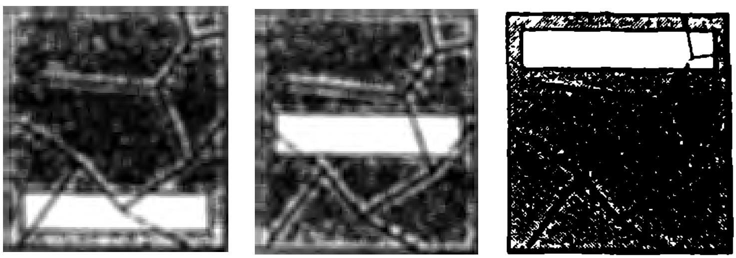
(شكل ٧-٢) حين ينتج إلكترون وبوزترون من أشعة جاما، يمكن للبوزترون أن يتفانى مع إلكترون آخر، تاركًا الإلكترون الأول حرًا. وقد بيَّن فاينمان أن هذا مماثل

(١) كان المفروض أن يشير المؤلف إلى انعكاس السهم للخط الأوسط، فهو يعتبر فى هذا الموقف صاعدا لأعلى ليلتقى بالخط الرأسى - المترجم

(٢) يقرأ الشكل فى هذه الفقرة فى صورته الأولى، أى السهم للخط الأوسط نازلا لأسفل ليعبر عن إلكترون هابط إلى الماضى بدلا من بوزترون صاعد إلى المستقبل، لاحظ أن هذا المعنى موضح بدرجة أكبر فى (الشكل ٧-٢) - المترجم

تماماً لإلكترون وحيد ينبعث من أشعة جاما ثم يرتحل مرتداً فى الزمن إلى الماضى ليصطدم بشعاع جاما آخر (قبل الاصطدام الأول؟) ثم ينطلق عائدا للمستقبل.

إن مضمون ذلك هو أن كافة الجسيمات بمدلول معين فى انطلاقها وتفاعلها فيما بينها يمكن أن تكون ثابتة فى هندسة الزمكان، وأن كل ما يشاهد فيها من حركة وتغير إنما هو خداع ناتج من تغيير إدراكنا للحظة «الآن» (شكل ٧-٣). وقد أصبح الفيزيائيون متقبلين حاليًا لهذه الفكرة، على الأقل فيما تمثله مخططات فاينمان من أداة هامة فى دراسة الجسيمات. ولكن ما من أحد يعتقد حقيقةً فى أن البوزترون هو إلكترون مسافرٌ فى ماضيه. إن قولاً كهذا ينظر إليه على سبيل التصوير البلاغى أكثر من كونه معبِّراً عن حقيقة علمية. ومع ذلك فإن قوانين الفيزياء تقرر صراحة أنه ما من وسيلة للتمييز بين إلكترون منطلق إلى المستقبل وبين بوزترون مسافر فى الماضى. وإن إمكانية استخدام نفس المخطط لوصف رحلة مسافر عبر الزمن يعنى أن قوانين الفيزياء تسمح بمثل هذا الشطط فى الخيال (وإن شئتَ، فإن المسافر فى الماضى يعتبر نقيضا للمسافر الأصلى).



(شكل ٧-٣) هل الزمن خداع؟ لو أن الخطوط الكونية للجسيمات كانت بصورة ما ثابتة فى الزمكان، وأن ما يتحرك حقيقة هو إدراكنا الذى ينزاح إلى «أعلى الصفحة» مع مرور الزمن، فإنه ما يزال بإمكاننا أن نرى التفاعل المعقّد بين الجسيمات، حتى ولو لم تكن هناك حركة ما.

ولكن إذا كانت أشعة جاما قادرة على إنتاج جسيم ونقيضه، فأين هى الطاقة الكافية لخلق مسافر ونقيضه؟ إن قدراً من الطاقة بهذه الكمية لن يتحصل عليها بمجرد توصيل المركبة بمصدر التيار (أو حتى من صاعقة)، الأمر الذى قد يعنى أن يكتفى فى البداية بكميات ضئيلة من المادة فى مشروع السفر عبر الفضائى، بدلاً من الطموح إلى

مستوى كائن بشرى. ولكنها ليست إلا عقبة فنية، بل وأقل صعوبة من مشكلة التعامل مع الأوتار الكونية. إننى لم أقل إن السفر عبر الزمن أمر يسير، إنه فقط ليس محالاً من وجهة قوانين الفيزياء!

لنصرف النظر مؤقتًا عن سفر البشر عبر الزمن، ونركز على الجسيمات المسافرة فى الماضى . هذه، على عكس قضية مقتل الجدة أو المسافر عبر الزمن، يمكن أن تكون مشكلة حقيقية فى المستقبل غير البعيد. ذلك لأنه طبقًا للنظرية النسبية ذاتها - ودعك من مخططات فاينمان - فإنه لا شىء البتة فى كون الجسيمات سابحة فى الماضى. لكنها فى هذه الحالة تكون مسافرة بأسرع من سرعة الضوء. ولقد أعطيت مثل هذه الجسيمات اسم «تاكيونات tachyons»، على الرغم من أن أحداً إلى الآن، ولحسن الحظ، لم يتوصل إلى اكتشاف جسيم منها.

التايكونات المسافرة عبر الزمن :

للوهلة الأولى تمنع النظرية النسبية السفر بأسرع من سرعة الضوء، فكلما زادت سرعتك زاد إبطاء الزمن بالنسبة لك، فإذا ما وصلت لسرعة الضوء يتوقف الزمن(١). إن سرعة الضوء تمثل حاجزاً لا يمكنك تجاوزه، فلو أنك أردت فلن تجد لك زمنا تفعل فيه ذلك.

ولكن فى الجانب الآخر من ذلك الحاجز تمامًا، طبقًا لما تقوله النظرية، يقع العالم العجيب للزمن المعكوس. معنى ذلك أنك لو اجتزت هذا الحاجز فسوف تجد نفسك متحركًا فى الماضى، وكلما زادت سرعتك فى ذلك العالم التايكونى، زاد الزمن بك سرعة فى اتجاه الماضى، وكلما زادت طاقة حركة الجسيم المنطلق بهذه الصورة، قلَّت سرعة انطلاقه (بمعنى أن الطاقة تدفع بالجسم إلى حاجز سرعة الضوء من أى من الاتجاهين). معنى ذلك أن التايكون حين يفقد طاقة تزداد سرعته، منطلقا فى الماضى

(١) للدكتور مصطفى مشرفة تشبيه طريف يوضح هذه النقطة، تخيل نفسك تنظر لساعة جامعة القاهرة عندما تدق الثانية عشرة ظهرا تماما. إن ما تراه هو فى الواقع شعاع الضوء سقط على عينيك من لوحة الساعة. تخيل أنك ركبت شعاع الضوء هذا فانطلق بك، سوف تظل عيناك متأثرة بهذا الشعاع بالذات، فيتوقف الزمن عند هذه اللحظة - المترجم

أثناء ذلك. ومن عجب أن تظهر هذه الفكرة الغريبة قبل أن توضع النظرية النسبية. ففى مطلع القرن العشرين توصل أرنولد سومرفلد Arnold Sommerfeld، (كان وقتها أستاذا بمعهد آخن التقنى، وقد حاز شهرة عريضة فى ميونخ كرائد من رواد النظرية الكمية) إلاّ أن نظرية ماكسويل عن الموجات الكهروضوئية تنص على أن الجسيمات المتحركة بأسرع من سرعة الضوء تزداد سرعة كلما فقدت طاقتها، وقد نشر بحثه عام ١٩٠٥ وحيث إن النظرية النسبية المنشورة عام ١٩٠٥ مؤسسة بدورها على نظرية ماكسويل، فإنه ليس من عجب أن تصل لنفس النتيجة. ولكن هذه الفكرة لم تلق اهتماما إلى الستينات، بل حتى فى ذلك الوقت كان ينظر إلى الفكرة كتلاعب بالمعادلات أكثر من كونها ذات أساس عملى. إن الوجود النظرى للتايكونات هو دليل على تماثل السالب والموجب الذى نلاحظه فى كثير من المعادلات الرياضية، مثل التماثل الذى أتاح وجود نقيض الجسيمات. فهذه الفكرة لم يأخذها أحد على محمل الجد (١)، بينما تزخر معجلات الجسيمات بالأجسام ونقائضها اليوم. ولكن التايكونات ليست نقيضا للجسيمات التى نعرفها، بل هى، بفرض وجودها، عالم من الجسيمات قائم بذاته.

كيف يمكن لأحد أن يلحظ تايكونا؟ إن المكان المرشح هو الأشعة الكونية التى تنهمر على الأرض قادمة من الفضاء ، فحين تصطدم هذه الجسيمات بطبقات الجو العليا، فإنها تنتج جسيمات أقل طاقة (والحقيقة أن البوزترون قد اكتُشف بهذه الطريقة). فلو أن جسيماً قد نتج عن تايكون، فإنه سوف يكون راجعًا فى الزمن، ويصل إلى الكاشفات الأرضية ليس فقط قبل أغلب الجسيمات الأخرى، بل قبل أن تصطدم الأشعة الأصلية ذاتها بطبقات الجو.

ولم تنبئ الكاشفات عن أية بادرة لوجود مثل هذه الجسيمات، عدا أنه فى عام ١٩٧٣ أعلن عالمان من استراليا عن اكتشاف شىء من هذا القبيل، ولكن لم يعترف أحد من العلماء بذلك، حيث لم يتأكد الكشف بصورة قاطعة، ويعتقد أغلب العلماء أنه لم يكن سوى إشارة خاطئة من الكاشفات لسبب ما. ولكن هذا ليس نهاية القصة فيما يتعلق بالكشف عن التايكونات.

(١) يرجع الفضل فى اكتشاف نقيض الجسيمات إلى بول ديراك Paul Deriac، وقد تنبأ بها من وجود تماثل فى نظرية النسبية بين السالب والموجب (كما أشار المؤلف فى المتن فى موضع آخر من نفس الفصل)، وتأكد تنبؤه باكتشاف البوزترون، وقد حاز جائزة نوبل عن ذلك (مشاركة مع شرودنيجر) عام ١٩٣٣ – المترجم

إن طريقة أخرى يمكن بها الإحساس بالتايكونات لو كانت مشحونة (أو على الأقل البعض منها). إن حاجز سرعة الضوء الذى قال به آينشتاين يشير إلى سرعته فى الفراغ، ولكن الضوء نفسه قد يسير بأقل من هذه السرعة، خلال وسط كالزجاج، فالجسيمات العادية يمكنها أن تسير بأسرع من الضوء، فى الماء مثلاً دون أن تتجاوز ذلك الحاجز. فإذا ما قام جسيم مشحون كالإلكترون بذلك، فإنه يشع ضوءا، إن ذلك يقابل صدمة تجاوز سرعة الصوت لدى الطائرات. وقد اكتشف هذه الظاهرة العالم السوفييتى بافل تشرنكوف Pavel Chaerenkov عام ١٩٣٤، وسمى ذلك «إشعاع تشرنكوف» تكريماً له.

وفى حالة جسيم تايكون ينطلق بأسرع من سرعة الضوء، فإنه سوف يشع هذا الإشعاع، طالما أن لديه طاقة تمكِّنه من ذلك. وتفترض الحسابات أن الجسيم يفقد كل طاقته حرفيًا فى هذا الإشعاع، فينطلق بسرعة الضوء وبطاقة تساوى الصفر، ومن وجهة نظر معينة يكون فى كل مكان من خطه الكونى فى نفس اللحظة. ولو أن الخط الكونى هذا تقاطع مع جسيم آخر، فإن التايكون يحصل على طاقة من ذلك التصادم، فيشع نبضة إشعاع أخرى. بكل أسف لم تكشف خزانات الماء المحاطة بالكشافات، على كثرتها، عن أية نبضة توحى بوجود هذه الجسيمات.

إن الإجماع منعقد على عدم وجود التايكونات، فهى طبقًا للتفكير المنطقى التقليدى، ليست إلا صنيعة معادلات نظرية بحتة، يمكن دون أية خطورة التجاوز عنها باعتبار أنها تفتقد أى أساس فيزيقى.

لقد رأينا أن الثقوب الدودية هى مفتاح السفر عبر الزمن، على أن ذلك له احتمال آخر، بل هو بمنظور معين أيسر، ذلك لو كنا نعيش فى كون دوَّار، فلو أن الكون برمته فى حالة دوران، فإنه يكون بذاته آلة زمن، بمعنى أنه سوف يحتوى على مسارات زمنية مغلقة.

كورت جوديل :

إن من جاء بهذه الفكرة هو عالم رياضيات له شهرة ذائعة فى الوصول إلى الجديد من الاكتشافات الرياضية المثيرة. إنه العالم كورت جوديل Kurt Gdel المولود عام ١٩٠٦ فى برن Brunn التى كانت تابعة للنمسا آنذاك، وحاليا تابعة

لتشيكوسلوفاكيا، وقد التحق جوديل بجامعة فيينا، ومنها حصل على الدكتوراه عام ١٩٣٠ ، وبعد ذلك بعام فقط فجر قنبلة مدوية، اعتبرت أعظم ما اكتُشف فى علم الرياضيات البحتة فى القرن العشرين. لقد بين فى إيجاز أن علم الحساب علم غير كامل، فلو أن أى نظام من القواعد قد وضع ليصف الحساب البسيط (وأعنى بسيط بمعنى الكلمة، أى على مستوى اثنين زائد اثنين)، فلا بد أنه يتكون من عبارات معينة. وقد أثبت جوديل أنه لا يمكن إثبات صحة عبارات ذلك النظام أو خطئها، باستخدام نفس القواعد. ويعرف ذلك باسم نظرية عدم الاكتمال لجودل Gdel Incompletes Theo-rem. ولا يضع ذلك أية قيود على الاستخدام اليومى لقواعد الحساب، فلا تزال قواعد الجمع والطرح وغيرها سارية تمامًا، بالضبط كما كانت قبل عام ١٩٣١، ولكن النظرية تزعج الفلاسفة وعلماء المنطق بشدة، فهى تعنى أنه من المحتمل أن يوجد شىء فى الحساب لا يمكن إثبات صحته من خطئه.

ولك أن تشعر بما يعنيه ذلك بالنظر إلى لغز قديم يتعلق بالألفاظ، وضعها الفيلسوف الإغريقى إبيمنديس Epemindes لقد لفت النظر إلى عدم التناسق المنطقى الكامن فى العبارات التى تمثل الرجوع لذاتها مثل:

هذه العبارة خاطئة

فبافتراض صدق العبارة، فمعنى ذلك أنها صحيحة، وهو ما يتناقض مع منطوقها، ولو كانت العبارة كاذبة، فمعنى ذلك أنها صحيحة، وأيضًا تكون متناقضة مع منطوقها. إن عبارة كهذه لا يمكن أن تكون صحيحة ولا خاطئه[١] إن أحجية كهذه لا تمنعنا من استخدام الألفاظ فى حياتنا اليومية ، وإن الكثيرين من الناس العاديين سوف يرفضون مناقشة جدل كهذا على أنه شرخ فى المنطق . ولكن النقطة الهامة فى جدل إبيمنديس وفى نظرية عدم الاكتمال لجوديل أن حلقة المنطق المنغلقة على نفسها فى النظم ذاتية المرجعية تؤدى كثيرًا إلى تناقض فى المنطق[٢]. وقد اتخذ هذا الجدل

(١) مثال ذلك أن يقول شخص عن نفسه: «أنا لا أقول الصدق أبدا»، فهل هو صادق أم كاذب؟ يطلق على هذه العبارات أحيانا «أنصاف الحقائق» وهى تحتوى دائما على تعميم لتقرير سالب. – المترجم

(٢) على المستوى الأخلاقى، يرفض القرآن الكريم فكرة ذاتية المرجعية باعتبارها سببا لضلال الإنسان، وتعبر الآية الكريمة التالية عن ذلك «أرأيت من اتخذ إلهه هواه»، صدق الله العظيم – المترجم

أساسًا للقول بأن الذكاء البشرى لن يتاح له أن يفهم العقل البشرى، لأننا فى محاولة فهمنا لأنفسنا نواجه على الدوام بمثل هذه الحلقات.

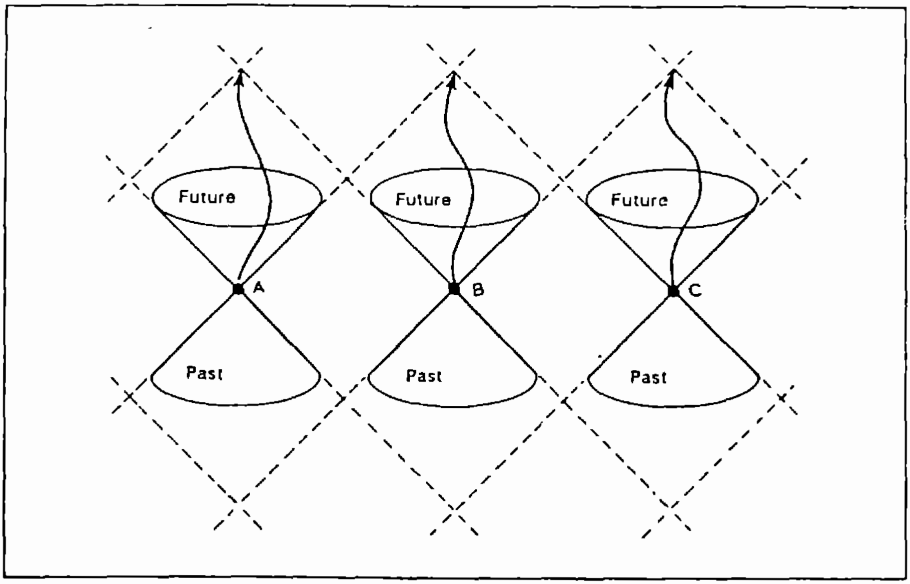
وقد مثل كل ذلك أساسا لكتاب دوجلاس هوفشتاتر Douglas Hofstadter الرائع Gdel, Escher, Bach. وفى حين أنه ليس بإمكانى أن أتابع استخلاص المضامين الشيقة من هذا الموضوع، فإننى أشير إلى أن وجود عبارات فى الرياضيات لا تقبل إثبات صحتها من خطئها تردد - بمغزى معين - الألغاز التى تضعها حلقات مسارات الزمن المغلقة، كمعضلة أن تكون الجدة مقتولة وغير مقتولة، ومعضلة قطة شرودنجر التى لا هى بالحية ولا بالميتة.

وبعد استيلاء النازى على النمسا هاجر جوديل إلى الولايات المتحدة، حيث عمل أستاذًا ببرنستون، متزاملاً مع ألبرت أينشتاين، وبالنسبة لرجل أثبت عدم اكتمال الرياضيات، لا بد أن النظرية النسبية كانت بالنسبة له مجرد تسلية ذهنية بسيطة. وبتشجيع من صديقه أينشتاين، عالج جودل النظرية مستخرجًا حلولا لها. أهم هذه المساهمات الفكرة التى خرج بها عام ١٩٤٩، وتذهب إلى أن الجاذبية التى تعمل على انهيار الكون بأن تجمع المادة بعضها إلى البعض يمكن أن تواجه بقوة طاردة لو كان الكون دوّارًا. مثل هذا الكون الدّوار لا يلزم أن يكون له مركز دوران، بالضبط كما أن الكون المتمدد ليس له مركز تمدد. ففى الكون الذى نراه من حولنا تجد أن أى مراقب، مهما كان موضعه، سوف يرى تمددًا منتظمًا من كافة الأنحاء من حوله. وبالمثل، فإنه فى كون جودل يرى كل مراقب، مهما كان موضعه، الكون ظاهريا دائرا من حوله، ولكن ليس هذا كل ما سيراه.

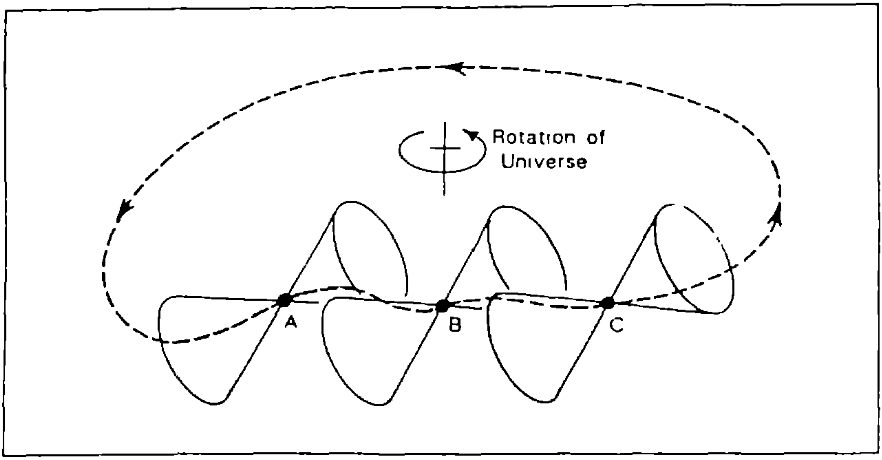
حينما تدور الأجسام ذات الكتلة، فإنها تجر الزمكان من حولها، بالضبط كما تفعل القهوة حين تدار فى الفنجان. ويحدث هذا بعنف فى كرة الطاقة حول الثقب الأسود الدّوار، ويرجع إليه سبب الظواهر العجيبة التى تتيح لنا (من حيث المبدأ) أن نقتنص منه الطاقة، ومن الطبيعى أن الفكرة تسرى على أى جسم دوار مهما كانت كتلته. الأمر فقط أنه لحدوث جر ملموس للزمكان يجب أن يكون للجسم كتلة ذات قيمة ملموسة.

ربما يكون من الصعوبة بمكان قياس مثل هذا التأثير لكوكب كالأرض، ولكن فى حالة دوارن الكون بأكمله، فإن هذا التأثير سوف يكون هائلا. وأفضل طريقة لتصوّر

هذا الأثر هو عن طريق مخروطات الضوء التى تبين العلاقة بين نقاط الزمكان المختلفة بالنسبة لنقطة ما على مخطط مينكوفسكى (وليس فاينمان هذه المرة). يبين (شكل ٧-٤) ثلاثة مخروطات ، خاصة بالنقاط «أ»، «ب»، و «ج». هذه النقاط لا تعرف عن بعضها البعض شيئا، وليس ثمة من تأثير متبادل فيما بينها، ذلك لأنه لكى تنتقل أية إشارة من نقطة للأخرى عليها أن تخرج خارج المخروط الخاص بها، وهو ما يعنى التحرك بأسرع من سرعة الضوء، ولكن مع دوران الكون فإن الزمكان وما يترتب عليه من جر للزمكان، تلاحظ أن المخروطات (فى كل مكان فى الكون) قد مالت عن مواضعها. فإذا كانت سرعة الدوران كبيرة بدرجة كافية، فإن الميل يكون بحيث يمكن لمسافر من النقطة «أ» أن يصل للنقطة «ب» مباشرة من المخروط الخاص به، أى دون تخطى سرعة الضوء، كما هو مبين بالشكل (٧-٥) . ولكن لا تنس أن هذا هو مخطط للزمكان، فالنقطة «أ» تمثل موضع فى الزمن والفضاء على حد سواء فى لحظة معينة. ففى كون جودل، يمكن أن يبدأ شخص من نقطة معينة من الزمكان، ثم يدور عبر الكون فى مسار مغلق ويعود لنفس نقطة البداية زمانًا ومكانًا، حتى ولو استغرقت الرحلة عشرات الآلاف من الأعوام طبقا للتوقيت القائم بها.



(شكل ٧-٤) مجموعة من مخروطات الضوء تنتمى إلى ثلاث نقاط «أ» و«ب» و«ج»، من المستحيل على أى مسافر أن يصل من أية نقطة للأخرى.



(شكل ٧–٥) لو كان الكون دوّارًا، فإن مخروطات الضوء سوف تميل بحيث يمكن للمسافر أن ينتقل من نقطة لأخرى فى رحلة حول الكون، ثم يعود لنقطة البدء، مكانًا وزمنًا، بدون أن يتجاوز سرعة الضوء.

هنا بالضبط مربط الفرس، فلكى تنشئ مسارًا مغلقًا بهذه الطريقة، على الكون أن يكون دوارا بسرعة مرة كل ٧٠ بليون عام. إنها سرعة من البطء بمكان، بحيث أنه لكوننا الذى لا يزيد عمره عن ١٥ بليون عام يكون المقدار المقطوع من الدوران غير محسوس بالمرة. ولو كان الكون يدور بالفعل بهذه السرعة، فإن أقصر رحلة مغلقة بهذه الطريقة تبلغ مائة بليون من الأعوام. معنى ذلك أن شعاع الضوء يستغرق مائة بليون عام للعودة لنفس النقطة التى بدأ منها.

بكل تأكيد توجد صعوبات عملية لاستغلال هذه الوسيلة لبناء مركبات زمنية، ولكن حل جودل لمعادلة آينشتاين يبين مرة أخرى أن السفر عبر الزمن ليس محالاً طبقًا للنظرية النسبية. كما يبين أيضاً أن الدوران وميل مخروطات الضوء المترتب عليه يمكن أن ينتج مسارات زمنية مغلقة. وفى ١٩٧٣ أدرك باحث من جامعة ماريلاند أنه بالإمكان الوصول لنفس الحيلة دون اشتراط دوران الكون بأكمله، شريطة وجود مادة مكدسة بالقدر الكافى، وأن سرعة الدوران عالية بما فيه الكفاية.

آلة تبلر الزمنية :

يعمل فرانك تبلر Frank Tipler حاليًا، والذى قدم هذه الفكرة الثورية، بجامعة تولان Tulane فى نيوأورليانز. ويعتبر إلى حد كبير عالمًا غير تقليدى فى مجال

رياضيات الفيزياء، قام بالإضافة إلى شغفه بحسابات بناء آلة زمنية بالتفكير فى احتمال وجود شكل من أشكال الحضارة الذكية فى الكون (وقد توصل إلى أنه لو وُجدت حضارة أكثر تقدماً من حضارتنا بقدر يسير لكانت قد استعمرت الكون برمته، وإن عدم إحساسنا بهذه الحضارة للآن هو دليل على كوننا الحضارة الأكثر تقدما فى الكون). كان أول اتصال بيننا عام ١٩٨٠، حين صغت أفكاره عن السفر عبر الزمن فى مجلة New Science التى كنت أعمل بها، ودام الاتصال بيننا منذ ذلك الحين، وقد أكد لى أن حساباته التى أجراها فى السبعينات لا تزال سارية. وقد ظهر وصفه الرياضى للآلة الزمنية فى عام ١٩٧٤، فى مجلة Physical Review (العدد ٩، صفحات ٢٢٠٣-٦) تحت عنوان «الاسطوانات الدوارة واحتمال خرق عام لقانون السببية (Rotating cylinders and the possibility of global causality violation)» بالنسبة لى ولك، فإن خرقا عاما لقانون السببية يعنى ببساطة السفر عبر الزمن. وحين سألته عما إذا كان يعتقد حقًا فى إمكانية تحقيق ذلك أجاب: «يوجد فى الحقيقة إمكانية نظرية لخرق قانون السببية فى سياق النظرية النسبية فى ثوبها الكلاسيكى».

وقد وضع تبلر لنفسه ثلاث مسائل كخطوات منطقية من الوجهة الرياضية للوصف الأولى لهذه الآلة، تولى الرد عليها واحدة بعد الأخرى: أولا، ما إذا كانت المعادلات تسمح نظريًا بأن يقوم مسافر بالعودة إلى نقطة البدء، بما يعنى ذلك السفر راجعًا فى الزمن لجزء من الرحلة، وقد رأينا بالفعل أن الإجابة على هذا التساؤل من منظور النظرية النسبية هو بالإيجاب. وفى الواقع فقد بيَّن براندون كارترBrandon Carter عام ١٩٦٨ أن حل كِرّ لمعادلات آينشتاين التى تصف الزمكان بالقرب من ثقب أسود دوار تحتوى أيضًا على مسارات زمنية مغلقة حين يدور بسرعة عالية. وكان تبلر يعلم بذلك خلال عمله، ولكنه عالج المسألة بنفسه من جديد زيادة فى الحرص. ثم ، ما إذا كان للظروف المطلوبة للرحلات حول مسار زمنى مغلق أن تتحقق بصورة طبيعية، مرة أخرى وجد أن الإجابة بالإيجاب. وأخيرا، ما إذا كان تحقيق هذه الظروف ممكنا بصورة اصطناعية، على الأقل من ناحية المبدأ، وأيضًا بيَّنت حساباته أن الإجابة بالإيجاب.

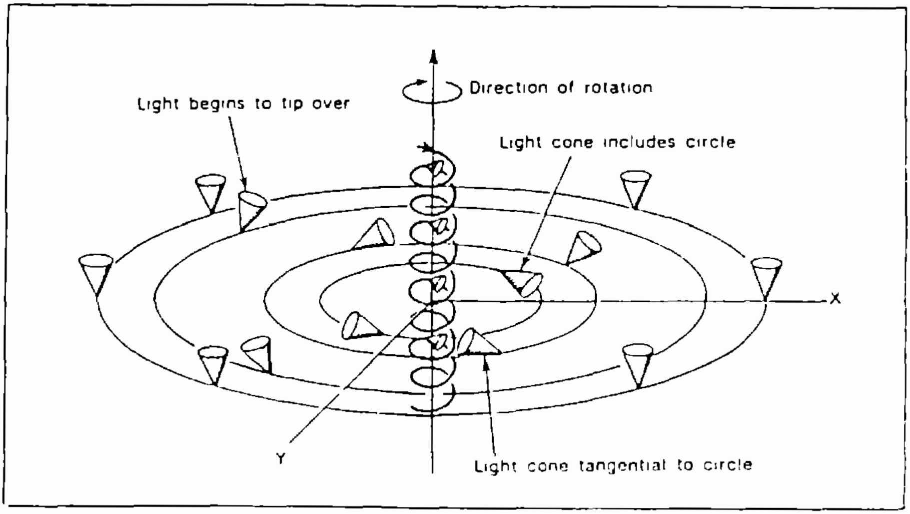
والخصيصة الجوهرية فى حسابات تبلر، والتى قدمها فى بحثٍ عام ١٩٧٤ ، هى الدوران. ولكنه أيضًا وجد أن آلة الزمن التى هى من هذا النوع (صناعية كانت أم

طبيعية) لا يمكن أن تخلق من المادة المعتادة تحت الظروف المعتادة. فالدوران يجب أن يكون لمفردة عارية لكى تحصل على مسار زمنى مغلق، وفيما يختص بالناحية الطبيعية. فقد رأينا أن هذا الاحتمال قائم بدرجة كبيرة، فالمفردات العارية قابلة للتكوُّن سواء كنتيجة لانفجار الثقوب السوداء، أو لتجمع غير متماثل للمادة. وفى هذه الحالات فمن المستبعد تمامًا ألا يكون البعض منها دّوارًا. على أن وجه الإبداع فى عمل تبلر هو وصوله لكيفية خلق المفردة العارية الدوارة اصطناعيًا.

إن استخدام فكرة ميل مخروطات الضوء لتصميم آلة زمنية مبيَّن فى (شكل ٧-٦) . ففى هذا التعديل لمخطط مينكوفسكى يوجد بعدان للفضاء، «س» و«ص»، مع البعد الرأسى المعتاد للزمن «ع». ويمثل البعد الرأسى أيضا الخط الكونى لمفردة عارية فائقة الكتلة، سريعة الدوران ملتوية على نفسها فى مجال جذبى شديد، وتلاحظ أن الجزء العلوى المتعلق بالمستقبل من مخروطات الضوء هو المبيَّن فقط تبسيطًا للرسم.

إن تأثير المفردة على مخروطات الضوء واضح فى الشكل، فعلى البعد، حيث المجال الجذبى ضعيف، تقف المخروطات معتدلة كما فى الفضاء المسطح المعتاد، وكلما اقتربنا من المفردة زاد ميل هذه المخروطات، وفى نفس اتجاه الدوران. وبالنسبة لمراقب فى وضع كهذا، لا يوجد أى شىء غير عادى، فمثلا، لم تزل قاعدة عدم تجاوز سرعة الضوء سارية. ولكن بالنسبة لمراقب على البعد السحيق فى الفضاء المسطَّح، يشاهد الأحداث فى هذه المنطقة ذات الفضاء الملتوى، يمكن لقواعد الفضاء والزمن أن تتبدل ، فالزمن فى حد ذاته يعانى التواء حول الجسم المركزى.

واللحظة الحاسمة لميل المخروطات الضوئية، من وجهة نظر السفر عبر الزمن، هى حينما يبدأ الميل فى الزيادة عن ٤٥ درجة. إنها اللحظة التى يهبط فيها أحد أحرف المخروط المستقبلى عن المستوى المحدد بالإحداثيين «س» و«ص»، وهو المستوى المعبر عن الفضاء.



(شكل ٧-٦) إن اسطوانة كثيفة الكتلة سريعة الدوران سوف تجر الزمكان من حولها بما يسبب ميل مخروطات الضوء في منطقة الحقل الجذبي الشديد. هذه هي الفكرة الأساسية لآلة تبلر الزمنية، إنك حين تدور في نفس اتجاه الدوران، سوف تتحرك راجعًا في الزمن، كما هو ممثل باللولب المركزي.

إن هبوط المخروط المستقبلي تحت المستوى المذكور يعني أن جزءًا منه يقع في الماضي!، طبقًا لما يراه مراقب من منطقة الفضاء المسطح ذي الجاذبية الضعيفة. ولتتذكر أن المسافر عبر الفضاء يمكنه، من حيث المبدأ، أن يذهب إلى أي مكان خلال مخروطه الضوئي. ففي الحالة المتطرفة من ميل المخروط، يمكن لهذا المسافر أن يختار مسارًا يبدو - من وجهة نظر المراقب الخارجي - أنه يتكون فقط من دائرة حول الفضاء، دون أي تحرك مع الزمن على الإطلاق (أي إلى أعلى الصفحة)!! فبمعنى معين يكون هذا المسافر في كل مكان في الكون في نفس اللحظة!

كما يمكن للمسافر إذا ما أراد، أن يوجه مركبته مائلة ميلاً خفيفًا أسفل ذلك المستوى، وأن يهبط بالتدرج إلى أسفل الصفحة في المسار اللولبي المركزي المبيَّن بالشكل، راجعًا في الماضي. بهذه الطريقة تعود المركبة دائما إلى نفس موقعها من الفضاء، بينما يهبط المسافر تدريجيًا سلم الزمن. وبنفس الطريقة يمكنه أن يعود أدراجه إلى المستقبل. ويقول تبلر عن ذلك:

> إن مسافراً يمكنه أن ينطلق من منطقة جاذبية خفيفة، بالقرب من الأرض مثلاً، ثم يذهب إلى منطقة المخروطات المائلة، ويهبط سلم الزمن، ثم يعود أدراجه دون أن يغادر مخروطه المستقبلى بالمرة. وبذلك يمكنه أن يسافر إلى أى زمن من الماضى يشاء.

فى الواقع، ليس إلى أى زمن ماضٍ يشاء، فكل التأثيرات التى ذكرتها تتعلق بنقطة معينة من الزمكان، تقع فى مستقبلٍ لحظة إنشاء المركبة الزمنية. فلو أننا صنعنا المركبة اليوم، فلن يكون بإمكاننا أن نستخدمها للعودة إلى زمن قدماء المصريين، ذلك لا يحدث إلا لو كانوا هم قد صنعوها، ووجدناها نحن وعرفنا طريقة تشغيلها للغوص بها إلى زمانهم. ويرتكز البعض على هذه الحقيقة لتبرير لماذا لم يزرنا أحد من أبناء الحضارات المتقدمة فى الكون. فهم لا يعزون ذلك لاستحالة السفر عبر الزمن، بل لأن المركبة الزمنية لم تكن قد بُنيت بعد. على أن العزاء يوجد فى حقيقة أن مركبة الفضاء هذه تفتح أبواب المستقبل بلا نهاية، إذا ما وجدت فقط للحظة خاطفة. ولكن السؤال الجوهرى يكون: كيف يمكن أصلاً البدء فى بناء تلك المرْكبة؟

إن أفضل تصورٍّ لذلك هو أن نجد جسمًا دوّارا ذا كتلة فائقة التكدس، قد تولد طبيعيا فى الكون، ثم نقوم بتعجيل سرعة دورانه إلى أن تتكون حوله مسارات زمنية مغلقة. إن أفضل شيء يُبحث عنه هو نجم نيوترونى، فهى أكثر الأجرام المعروفة اكتنازًا، كما أن البعض منها يدور بسرعة خرافية، فعلى الأقل قد عثر على نجم نابض يدور حول محور مرة كل ١,٥ ميلى ثانية! (تُعرف على سبيل المبالغة بنابضات الميلى ثانية)، ومما يدعو للدهشة أن هذه السرعة قريبة لما تتطلبه حسابات تبلر.

إن حسابات تبلر تتطلب أسطوانة لا تقل عن ١٠٠ كيلومترًا طولا، وعرضها لا يزيد عن ١٠ إلى ٢٠ كيلومترًا، تحتوى على الأقل مقدار كتلة الشمس، وبكثافة نجم نيوترونى. فلو أن أسطوانة كهذه دارت بسرعة دورة كل نصف ميلى ثانية، أى ثلاثة أضعاف سرعة النجم النيوترونى المشار إليه فقط، فإن مفردة عارية ستتكون بداخله.

فلو أننا جمعنا عشرة نجوم نيوترونية، ووصلناها قطبًا فقطبًا، وأعطيناها السرعة المطلوبة، لتمكنًا من بناء آلة تبلر الزمنية. مما لا شك فيه أن مشروعا طموحا كهذا تكتنفه العديد من الصعوبات، ليس أقلها العثور على عشرة نجوم نيوترونية على سبيل البداية.

إن ما يريد تبلر قوله فى هذا الخصوص، شأنه فى ذلك شأن زملائه النسبويين، هو أن معادلات النسبية تسمح بالسفر عبر الزمن من حيث المبدأ، وأن المسألة متوقفة على إمكانيات تحقيق ذلك. على أننى أجد فكرة النجم النيوترونى جذابة للغاية، فلعل نجماً يصلح لان يكون آلة زمنية طبيعية بالمفهوم الذى قال به تبلر يكون موجودا بالفعل فى الكون منذ أمد بعيد، مما يمكّن أحفادنا من استغلاله، ليس فقط موفِّرًا عليهم العناء، بل أيضا سيتيح لهم الغوص فى الماضى إلى لحظة منشئه.

من جهة أخرى فإن الإشارة إلى احتمال تمزق آلة تبلر، والاحتياج إلى طاقة هائلة لتماسكها، يعيد إلى الأذهان فكرة الثقوب الدودية والأوتار الكونية، فلو عُثر على وتر كونى فإنه يكون الشىء الملائم تمامًا لتأدية هذا الغرض، بالضبط كما أفاد فى عدم غلق البوابة النجمية للثقب الدودى الاصطناعى. فكما بيَّن ثورن ونوفيكوف وزملاؤهم، بمجرد بناء ثقب دودى يعمل كمْعبرٍ نجمى، فيقدم وسيلة الاتصال عبر الكونى، فإنه يكون من اليسير تحويله إلى آلة زمنية.

الثقوب الدودية وآلات الزمن :

إن الطلب الذى قدمه ساجان لثورن حول التفكير فى آلة معقولة لإمتاع قرَّائه، قد تسببت فى إثارة بالغة ، سرعان ما دبت فى الوسط العلمى بأسره. لقد كان نوفيكوف مشغولاً لعدة سنوات بقضية المسارات الزمنية المغلقة، وحينما بدأ فريق كالتك يقدرون أن البوابة النجمية التى صمموها إرضاء لساجان تنفع أيضًا فى القيام بوظيفة السفر الزمنى، كان طبيعيًا أن يتصل ثورن بنوفيكوف، ليسأله عما إذا كانت قوانين الفيزياء تسمح بإنشاء تلك المسارات «بصورة معقولة» على حد قول ثورن. وعلى الفور نشط الجميع لدراسة الموضوع، مكونين ما أسماه ثورن «كونسورتيوم» كان يتكوَّن وقتها من سبعة من العلماء، موزعين على القارتين. ثم إن هناك آخرين، مجموعة نيوكاسل، إيان ردماونت ومات فيسر. وأغلب ما سيعرض إلى نهاية الفصل مبنى على أعمال «الكونسورتيوم» السوفيتى الأمريكى، بدءًا من التقنية التى اتبعوها لتحويل بوابة نجمية إلى آلة زمنية.

فبمجرد أن يكون لديك بوابة نجمية لثقب دودى، لن تحتاج حتى للنظرية النسبية العامة لكى تعرف كيف تُحيلها إلى آلة زمنية، فالنسبية الخاصة ملائمة تماما للغرض.

تذكّر أنه لو كان لدينا توأمان، انطلق أحدهما فى رحلة فضائية بسرعة محسوسة بالنسبة لسرعة الضوء، فإنه يعود أكثر شبابًا من توأمه المقيم على الأرض، فالتحرك يُبطئ من عمل الساعات. فإذا ما أعطيت إمكانيات حضارة متقدمة، فيمكنك تخيل تمكنك من ناصية فتحة ثقب دودى بطريقة أو بأخرى، ثم الانطلاق به فى رحلة كتلك الرحلة. بالطبع ليس من السهل تخيل تملك ناصية شيء مهول كفوهة الثقب الدودى، ولكن هناك طريقتان لتصور ذلك.

أولا، يمكنك أن تستخدم جرما ضخم الكتلة، وليكن كوكبًا مثلاً، تضعه أمام فوهة الثقب ذى الجاذبية الهائلة. فلو أنك سحبت الكوكب، لتبعه الثقب بقوة التجاذب بينهما، كما يجر الحمار عربته. الحل الثانى أن تضيف للفوهة شيئا من الشحنة الكهربية، ثم تستخدم مجالاً لجرها. وبالتأكيد سوف يكون لدى الحضارة المتقدمة المزيد من الأفكار حول هذه المشكلة، ولكن هاتان الوسيلتان تفيان بالغرض.

فما أن دبرتَ طريقة لجر فوهة الثقب، فما عليك إلا الانطلاق بها بسرعة محسوسة بالنسبة لسرعة الضوء لمسافة ما، ثم تعيدها بجوار الفوهة الساكنة، إن من شأن ذلك أن يخلق فرقًا زمنيًا بين الفوهتين، تجعل إحداهما فى ماضى الأخرى.

فبسبب الطريقة التى يرتبط بها الزمكان عن طريق هندسة الثقوب الدودية (طبولوجيا الزمكان المصاحبة للثقوب الدودية) فإن ذلك يعنى أن الثقب الدودى سوف يعمل كآلة زمنية. فالمسافر الذى يقفز فى الفوهة التى قد تحركت سوف يخرج من الأخرى الساكنة عند الزمن المقابل للأولى. لنفرض أن الفرق بين الفوهتين زمنيا هو ساعة واحدة، وأن المسافر قد يبدأ من الفوهة الساكنة الساعة ١٢ ظهرًا، ثم استغرق عشر دقائق مثلا لكى يعبر إلى الفوة التى تحركت، سوف يصل إليها طبقا لساعته وتوقيت الفوهة الساكنة الساعة ١٢ وعشر دقائق. ولكنه لو قفز فى الفوهة التى تحركت، فعندما يخرج من الساكنة (لحظيًا تقريبًا، طبقًا لتوقيت المسافر) سيجد الساعة ١١ وعشر دقائق. يمكن للمسافر أن يعود القهقرى بسرعة، ثم يخرج مرة أخرى من الفوهة الساكنة الساعة ١٠ وعشر دقائق، ويمكنه أن يكرر ذلك إلى ما شاء الله، عائدا كل مرة إلى المنطقة التى يوجد فيها فرق الزمن.

وكما هو الحال فى آلة تبلر، تتيح هذه الوسيلة الإغراق فى الماضى فقط إلى وقت بناء الآلة، وكمثل الأولى أيضًا تفتح باب السفر فى المستقبل بلا حدود، فعندما تعبر من

الفوهة الساكنة إلى المتحركة بعد لحظات بتوقيتك، تكون قد قفزت ساعة للأمام بتوقيت مراقب خارجي.

العقبة الأساسية هنا هي أنه يتحتم عليك أن تمضي بعيداً حتى تنشئ فرق زمن ملموس، فلو فرضنا أنك انطلقت بسرعة تعادل ٩٩,٩ بالمائة من سرعة الضوء، ولمدة عشر سنوات قبل أن تتوقف، فإن ذلك لن يعطيك أكثر من تسعة أعوام وعشرة أشهر من فرق الزمن بين فوهتي الثقب الدودي. ولكن هذه التفاصيل ليست ما يهم الفيزيائيين الذين يدرسون النظرية المتعلقة بالسفر عبر الزمن اليوم، فكما يقول كب ثورن: «حتى ولو سمحت معادلات الفيزياء ببناء آلة للسفر عبر الزمن، فإن احتمال بناء واحدة في الألف عام القادمة لا يزيد عن الصفر». إن الهدف من عمل الكونسورتيوم هو كيفية وضع اتساق بين المعادلات بحيث تُزيل التضارب الناتج عن مثل هذا التصور، كقضية الجدة مثلاً. فلو أن المعادلات سمحت بالسفر عبر الزمن، فكيف نتفادى خرق مبدأ السببية؟ أو بعبارة أخرى، كيف لنا أن نعالج التضارب؟

معالجة التضارب :

إن أسلوب عمل الكونسورتيوم يتميز بخصيصتين جوهريتين. أولا: أنهم لا علاقة لهم بالمشاكل الناتجة عن السلوك البشري، كتردد المسافر وتغيير رأيه أو الكذب حول نواياه في قتل جدته. وهذا فرض عادل تماماً، حيث إن عملهم مرتبط بالمعادلات الفيزيائية وهي على درجة من التعقيد كافية في حد ذاتها، لا مجال لأن تزاد بمشاكل النفس البشرية، فسوف يكون الوقت متاحاً تماماً لأخذ مثل هذه الموضوعات في الاعتبار بعد إنجاز المهمة الأصلية، وهي فهم المبادئ الأساسية للفيزياء فهماً جيداً. ففي قضية التركيز على وجه الصدق في المعادلات يعامل البشر المتصلون بمثل هذه العمليات أقرب إلى كرات البلياردو منهم كمخلوقات بشرية.

الخصيصة الثانية في أسلوب عمل الكونسورتيوم في مواجهة قضية السفر الزمني هي افتراض أن الكون لن يسمح إلا بالحلول المتناسقة فيما بينها. مرة أخرى، فرض معقول، وذلك لسببين: أولا: لو أننا سمحنا بحلول متضاربة، فإنه لا معنى أصلاً من دراسة علم الفيزياء. ومن جهة أخرى، فإن كثيراً من الحلول الصحيحة رياضياً لا معنى لها فيزيائياً، ويتفق ذلك بصورة أوضح مع المعادلات التي تحتوي على جذور

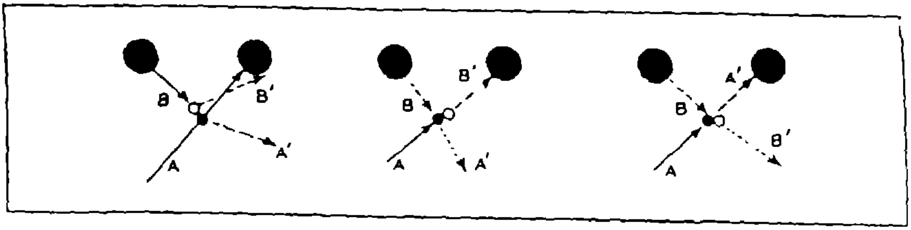
تربيعية. خذ نظرية فيثاغورث مثلاً، إن بعضاً من إجاباتها قد تعطى طول ضلع سالب، ولكنه حل مرفوض من الناحية الفيزيائية. وعلى ذلك، فمن المعقول جدا أن يفترض رجال الكونسورتيوم أن المقبول فقط من الحلول هو ما يحظى «بتناسق ذاتى عام».

يُمكننا أن نرى المغزى وراء كل ذلك، وكيف يعطى رؤية جديدة لعمل الكون، وذلك بالنظر فى الوجه الخاص بقتل الجدة من وجهة نظر كرات البلياردو. سنفعل ذلك بتخيُّل نفق زمنى ذى فوهتين متجاورتين، فلو أن كرة بلياردو أطلقت فى الفوهة المناسبة من النفق بالطريقة الصحيحة تماماً، فهى ستخرج من الفوهة الأخرى فى الماضى. ثم لنتصور أن هذه الكرة اصطدمت بنسختها القديمة، فلو أن هذا الصدام كان بحيث تزاح عن طريقها، فمعنى ذلك أنها لن تدخل النفق من البداية، ومن ثم لن تصطدم بنفسها، وهكذا. وعلى ذلك فإن هذا الحل مرفوض من قبل الكونسورتيوم لتناقضه الذاتى، فالكون ببساطة لا يمكن أن يعمل بهذا الأسلوب.

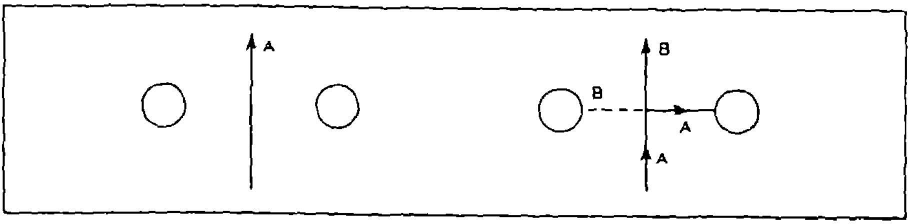
والسبب فى ثقتهم بعدالة رفض الحلول المتناقضة ذاتياً هو أن لديهم على الدوام خيارا آخر فى حلول تتميز بالاتساق الذاتى مؤسسة على نفس الشروط الأولية. فعودة لمثال نظرية فيثاغورث، لو أن الحل المتضمن بعدا سالبا كان هو الحل الوحيد لقبلناه رغماً عنا، ولكن لأن للمسألة احتمالا آخر متفق مع الواقع الفزيائى كما نعرفه، فإنه بإمكاننا أن نعتمد عليه ونطرح الآخر. وبنفس المنطق، فإن الكونسورتيوم يقبل الحلول المتسقة ويرفض ما عداها.

يمكن تصور حل لا يوقعنا فى هذا التناقض، أن يكون الصدام بين الكرة ونسختها القديمة بحيث يوجهها إلى مكان الفوهة. وحل آخر، أن يكون هذا الصدام هو الذى وجه الكرة للفوهة فى المقام الأول. ثم حل ثالث، أن يتبادل الكرتان المواقع، فتنطلق النسخة القديمة فى طريق الفوهة، وتنحرف الجديدة، فبالنسبة لمراقب على البعد، لن يلحظ شيئًا غير عادى.

الحقيقة أن الحلول التى لا تتناقض مع نفسها لا نهائية العدد. يبين (شكل ٧-٧) بعضاً منها، كما يبين (شكل ٧-٨) كيف أن تبادل الأوضاع بين الكرتين يبدو لمراقب خارجى كأن شيئا لم يحدث، وأن الكرة الأصلية منطلقة فى طريقها.



(شكل ٧-٧) (أقصى اليسار) النسخة المقابلة لتضارب الجدة بالنسبة لكرات البلياردو: لو أن الكرة «أ» دخلت الثقب الزمنى، فخرجت منها «ب» فى الماضى، فاصطدمت بنفسها الأصلية بحيث تحيدها عن مكانها، فكيف إذن دخلت فى البداية؟ (وسط) ولكن إذا اصطدمت الكرة الثانية بالأولى بحيث وجهتها إلى الفوهة، زال التناقض (يمين) كما لا يوجد أى تناقض لو أن الاصطدام هو بداية توجيه الكرة للفوهة.



(شكل ٧-٨) فى الواقع يوجد عدد لانهائى من الحلول المتناسقة لحل التضارب، فيها تدور الكرة فى منحنى مغلق بطرق مختلفة، فمن البعد مثلاً تبدو الكرة فى المثال المعطى وكأنها ماضية فى طريقها دون أى اصطدام.

يذكّرنا كل هذا بالطريقة التى يعمل بها الكون على المستوى دون الذرى حيث يوجد العديد من الخيارات، كما رأينا فى مثال قطة شرودنجر. فالكرة تبدو طبيعية تمامًا قبل أن تدخل النفق، ثم تتفاعل مع نظامه بطرق مختلفة، مكونة تراكمًا من الحالات، قبل أن تخرج منه مرة أخرى، فى هيئة طبيعية تماما. فما يسميه ثورن «فيض» من الحلول المتناسقة لنفس مشكلة كرة البلياردو مع الثقب الدودى كان من شأنها أن تثير إزعاجا شديدا لو لم يقم المنظرون الكمّيون بمعالجة كيفية تناول المسائل المتضمنة مثل هذه الحقائق المتعددة.

وقد وُضع التكنيك المطبق أول ما وضع فى الأربعينيات، ويعرف باسم طريقة «تجميع التواريخ sum-over-histories approach لريتشارد فاينمان. ففى فيزياء نيوتن التقليدية ينظر لكرات البلياردو (أو أى جسم آخر) على أنها تسير فى مسار محدد، خط كونى وحيد، أو «تاريخ». أما فى الفيزياء الكمية فإننا لا نجد مثل هذا التحديد، بسبب مبدأ عدم اليقين الذى يحكم العالم الكمى، فميكانيكا الكم لا تتعامل إلا مع الاحتمالات، وتقول لنا بدقة كبيرة، ما هو احتمال أن يسلك هذا الجُسيم هذا الطريق أو ذاك، أما كيف يسلك الجسيم هذا الطريق أو ذاك، فهذه قضية أخرى فالاحتمال الذى يبيِّن لنا أى طريق يسلكه الجسيم يحسب فى الواقع من جمع مساهمات احتمالات كافة المسالك المتاحة بين نقطتى البداية والنهاية. يبدو الأمر وكأن الجسيم يدرك كافة هذه الاحتمالات، ويقرر أى طريق يسلكه[1] ، وحيث يطلق على كل مسار «تاريخ»، فإن أسلوب حساب كيفية تصرف الجسيم بجمع المساهمات من كل مسار هو ما يبرر التسمية «تجميع التواريخ».

طبعًا ينطبق ذلك على المستوى الكمى، أى على مقياس الذرة فنازلا. وعدم اليقين الكمى ضئيل للغاية، ومن ثم فلا تأثير له يذكر على عالمنا الكبير، وهو ما يجعل كرات البلياردو تتصرف بالفعل متبعة مسارات محددة، ولكن الأنفاق الزمنية تخلق فى الحقيقة نوعًا جديداً من عدم اليقين بين فوهتيها، يعمل على مقياس أكبر. وقد وجد علماء الكونسورتيوم أن أسلوب تجميع التواريخ يعمل بنجاح تام فى هذا الموقف، واصفًا الحلول لمسائل كرات البلياردو حين تعبر هذه الأنفاق. فإذا ما بدأت من حالة أولية للكرة وهى تقترب من النفق من بعيد، فإن أسلوب تجميع التواريخ يعطيك مجموعة من الاحتمالات التى تخبرك فى أية لحظة وفى أى موضع يُحتمل للكرة أن تخرج من الجانب الآخر، متحررة تماما من المنطقة المحتوية على المنحنيات الزمنية المغلقة. إنها لا تخبرك كيف ستنتقل الكرة من موضع لآخر، بالضبط كما لا تخبرك النظرية الكمية كيف تتحرك الجسيمات داخل الذرة، ولكنها تخبرك بكل دقة عن احتمال أن تجد الكرة فى موضع معين، وفى اتجاه معين، بعد التقائها بالنفق الزمنى. والأكثر من ذلك، فإن احتمال أن تبدأ الكرة بمسار تقليدى ثم تنتهى فى مسار آخر هو صفر، فكما يبين (شكل ٧-٨) فإنه بالنسبة لمراقب من بعيد لا يوجد حيود عن المسار بالمرة، فهو لن يدرك

(١) راجع ما أوردناه فى مقدمة الكتاب عن هذا التصور - المترجم .

ذلك مالم يكن قريباً من موضع الأحداث. يقول ثورن: «بهذا المعنى، فإن الكرة تختار أن تسلك طريقًا تقليديًا معينًا فى كل تجربة، ولكل حل من الحلول تنبؤه الخاص به» كما أن هناك ربحا إضافيًا. إننا لا نغفل كلية فى أسلوب تجميع التواريخ الحلول غير المتناسقة، فهى متضمنة فيه، ولكنها لا تؤثر فى الحصيلة العامة إلا بقدر ضئيل.

كما توجد خصيصةٌ أخرى غاية فى الغرابة فى كل ذلك، فلأن الكرة بمفهوم معين «مدرِكة» لكل المسارات المحتملة، أى كل التواريخ المستقبلية، المتاحة لها، فإن تصرفها فى أى موضع على خطها الكونى يعتمد بقدر ما على المسارات المتاحة فى المستقبل. وحيث إنه يوجد العديد من المسارات المتاحة للكرة خلال النفق الزمنى، فإن ذلك يعنى أنها تتصرف، من حيث المبدأ، فى حالة وجود النفق الزمنى بصورةٍ مختلفةٍ عما لو لم يكن النفق موجوداً. ورغم أنه من الصعوبة بمراحل أن تجرى قياساتٌ لهذا التأثير، فإنه طبقا لما قاله ثورن فإنه من الممكن من حيث المبدأ أن تجرى مجموعة من القياسات على كرات البلياردو تلك قبل أى إجراء لإنشاء آلة الزمن، وأن يدرس من واقع تلك النتائج احتمال نجاح إنشاء نفق يتضمن مسارات زمنية مغلقة فى المستقبل.

وتلخيصاً لأعمال الكونسورتيوم حتى الآن، يعلِّق ثورن بأن تصرف قوانين الفيزياء فى وجود آلة الزمن يبدو معقولاً بدرجة كافية «ليسمح للفيزيائيين أن يستمروا فى مشروعهم العلمى دون تعديل كبير»، حتى ولو كانت الآلات الزمنية يبدو أنها تهب الكون «خصائص قد يجدها الفيزيائيون غير مستساغة». إنه من الممكن إنشاء آلات زمنية طبقًا لقواعد الفيزياء، وإنه من الممكن أن تُجرى رحلات زمنية دون أن تُخترق قاعدة السببية. وقد بين نيفوكوف فى لقاء بجامعة سسكس عام ١٩٨٩ أنه «إذا ما وجد حل غير متسق وآخر متسق، فإن الطبيعة تختار الأخير منهما».

وعلى الرغم من ذلك، فهذا ليس نهاية قصة الثقوب السوداء تمامًا، فمن بين القلة من الفيزيائيين الذين لم يجدوا هذه الأفكار غير مستساغة من يدرس إمكانية وجود ثقوب دودية أصغر من أى شىء ذكرته إلى الآن، على صورة «زبد» زمكانى على المستوى الكمى. أحد الأسباب لكون هذه الثقوب الدودية «الميكروسكوبية» مغرية هو أنه لو وجدت حقًا فإنه يمكن إنشاء آلة زمن باقتناص واحدة منها ثم تضخيمها بطريقة أو بأخرى إلى الحجم الملموس، ولكن هذا السبب يتوارى بجوار سبب أهم، أنها قد تفسر نشأة الكون نفسه. مرة أخرى، يستخدم التفسير أسلوب «تجميع التواريخ» لريشارد فاينمان .

الفصل الثامن

الاتصالات الكونية

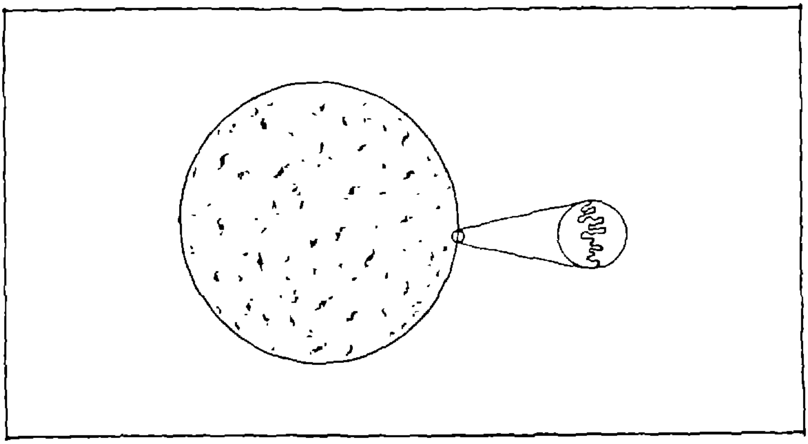
الأكوان الوليدة والفقاعات الزمكانية. نفخ فقاعة كونية. وداعًا لثابت أينشتاين المحرج. الثقوب السوداء والمصير النهائي للكون – نهاية الزمن، أم زمن بلا نهاية؟

لا يُؤثر عدم اليقين الكمي في الجسيمات والطاقة فقط، بل يؤثر في هيكل الزمكان ذاته. الطريقة لتصوير ذلك هي تمثيل الكون ببالون ينتفخ، على النحو المبين في (شكل ٨-١) هذه صورة تبدو من وجهة نظر علوية خارج الفضاء والزمن، وهو يبدو على هذا المقياس أملس منتظمًا، ذا حدود قاطعة التحديد. ولكن لنأخذ الآن نظرة أشد قربًا لجزء صغير من نسيج ذلك البالون. فلو أن جزءًا أصغر بكثير من نواة الذرة – إلى ١٠^-٣٣ سم (حدود مقياس بلانك[1] ، فإن المراقب الخيالي سوف يدهش لما يراه من جيشان محموم لنشاط الفضاء، كمثل سطح البحر حين يتعرض لعاصفة هوجاء، فهو يتأرجح ويتلوى في كافة الاتجاهات بصورة عشوائية. إنه أثر عدم اليقين الكمي على الفضاء، بالضبط كما يجيش الفراغ بنشاط الجسيمات التقديرية.

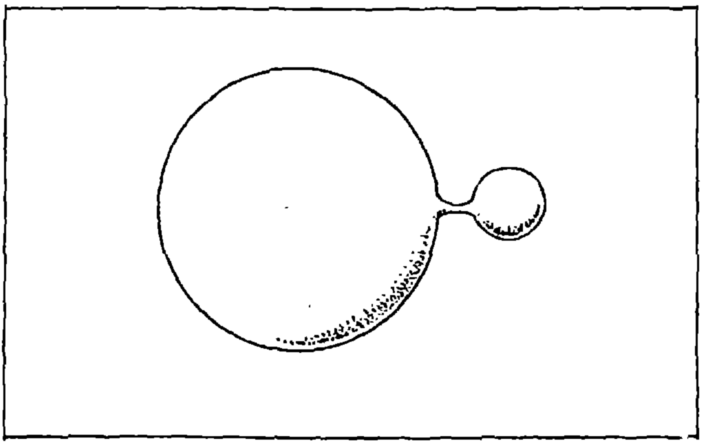
ومن الاحتمالات قوية الحدوث بدرجة كبيرة، طبقًا لما يقوله باحثون من أمثال ستيفن هوكنج، أنه في خضم هذا النشاط المحموم تتكون ثقوب دودية في نسيج الزمكان على هذا المستوى، ومن المحتمل أن تكون هذه الثقوب ذات فوهات داخل كوننا، مثل تلك التي تحدث عنها الكونسورتيوم، ولكن على مقياس أكثر دقة. ويشير العلماء المهتمون بقضية السفر عبر الزمني إلى أنه في المستقبل البعيد قد يُتاح لحضارة متقدمة أن تقتنص إحدى هذه الثقوب، وتضخمها بطريقة تعرفها هي، لتنشئ

(١) لم تقتصر عملية الوحدات غير القابلة للتجزئة على الجسيمات الأولية ولا على الطاقة (ووحدتها الكم كما قال بلانك، وهي أصغر وحدة من الطاقة لا تقبل التجزئة)، بل تخطى ذلك إلى المسافة وإلى الزمن، انظر مسرد المصطلحات "مقياس بلانك" – المترجم

منها نفقًا زمنيًا من النوع الذى سبق أن تحدثنا عنه فى الفصل السابق. ولكن يوجد أيضا نوع آخر من الثقوب الدودية الكمية يسمح بها عدم اليقين الكمى - يُحتمل أن تكون قد نتأت من جزء دقيق من زمكان كوننا، ثم تمددت مكونة كونا مستقلا، ولكنه متصل بكوننا عن طريق الثقب الدودى الميكروسكوبى، على النحو المبين فى (شكل ٨-٢) .



(شكل ٨-١) بدلا من تصور نسيج الزمكان كسطح بالون أملس، يتصور كزبد متأجج بالنشاط الكمى .



(شكل ٨-٢) يحدث أحيانًا أن يتكون نتوء فى «نسيج» الكمى للبالون الأم.

يشير علماء الكونيات إلى هذا الاحتمال باسم «الكون الوليد»، ولا يصله بـ «الكون الأم» إلا ثقب دودى فوهته ثقب أسود قطره $١٠^{-٣٣}$ سم، وهى مسافة لا قبل لنا بملاحظتها. ولكن احتمال حدوث الكون الوليد يغير من رؤيتنا لكوننا تغييراً جذرياً.

الفقاعات المتضخِّمة:

تتعلق الرؤية الهامة الأولى بالطريقة التى يبدأ بها الكون الوليد فى التمدد، وتتصل هذه مباشرة بالطريقة التى بدأ بها كوننا فى التمدد من المفردة الأولى. تسمى هذه الطريقة «التضخُّم» inflation، وهى مؤسسة على نظرية قال بها ألن جوث Alan Guth من معهد MIT فى الثمانينات. تشرح عملية التضخم كيف يتمدد كون من بذرة ليست أكبر من الاضطراب الكمى للفراغ، فى تفجر محموم كالانفجار العظيم فى أقل من جزء من الثانية، بالمعنى الحرفى للكلمة. لقد شرحتُ باستفاضة هذا التضخم فى كتابى In Search of The Big Bang، ولست أنوى تكرار الموضوع بالتفصيل هنا، على أن النقطة المهمة هى أنه قبل ظهور نظرية التضخم كان الكونيون سعداء بتمكنهم من شرح كيفية تمدد الكون من الطاقة المستعرة للانفجار العظيم (اعتماداً على النظرية النسبية العامة بصفة أساسية)، ولكن لم تكن لديهم أية فكرة عن منشأ هذه الطاقة فى المقام الأول. وتعتمد نظرية التضخم على مفاهيم عريضة للنظرية الكمية لتصوغها فى آلية طبيعية تبدأ من بذرة ميكروسكوبية على مقياس بلانك، لتصعد بها إلى كرة مستعرة، تتناولها النظرية النسبية العامة بعد ذلك.

وقد وُضعت النظرية كمحاولة لتفسير وجود وطبيعة كوننا، ولكن لو أن هذه الحيلة قد نجحت مرة، فلا مانع من أن تتكرر مرات ومرات. فأى اضطراب كمى دقيق للفراغ كفيل بأن يتضخم مكوِّنًا كونًا جديداً قائمًا بنفسه، إلا أنه من المحتمل أن تذوى بعض هذه التضخمات (كما تفنى الجسيمات التقديرية)، فى حين قد تصل البعض الآخر منها إلى مرحلة الكون الوليد، لتنمو إلى أكوان شبيهة بكوننا. وطبقا لما يقوله باحثون من أمثال جوث وهوكنج، إنها عملية مستمرة خلال الكون الذى نقطُنه.

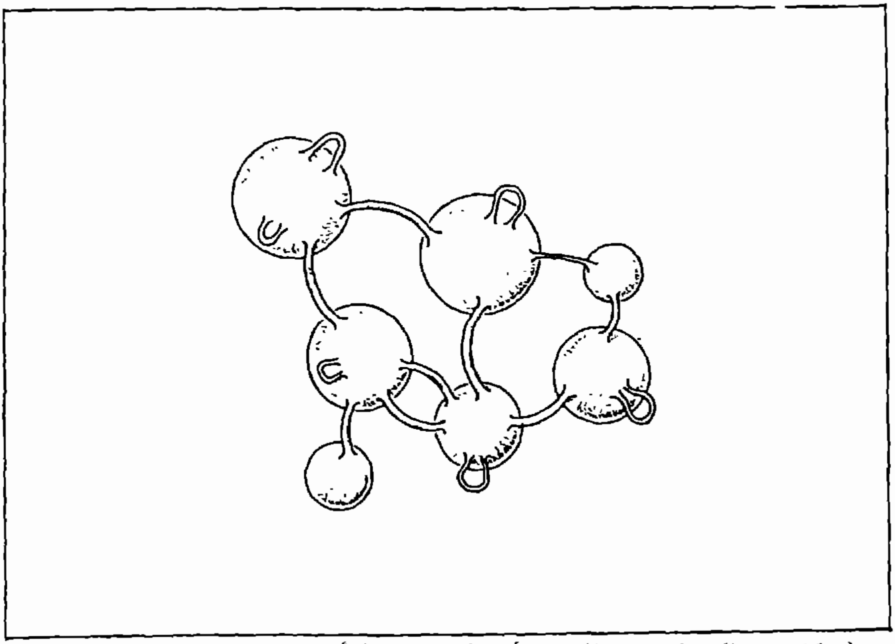
ويطرح ذلك سؤالا جوهريا مثيرا، أين بالتحديد يقع هذا كله؟!

تذكر أن سطح البالون فى (شكل ٨-١) لا يمثل «حداً» للكون، فالنسيج متناهى الصغرفى السمك لذلك السطح هو «كل الفضاء». معنى ذلك أن الاضطراب الكمى فى

نسيج الزمكان يسرى فى الواقع فى كل مكان من الفضاء بأبعاده الثلاثة. وعلى ذلك فحين يضطرب الزمكان إلى أن تنتأ بذرة الكون الوليد، ثم تتضخم مرتبطة بالكون الأم بالثقب الدودى، فإن هذا الكون تكون له أبعاده الخاصة به، وتكون أبعاده جميعها على تعامد مع كل أبعاد الكون الأم. يعنى ذلك أن الكون الوليد ليس له أى تأثير فيزيائى كائنًا ما كان على الكون الأم، وليس له أن يُحس أو يُرى، عدا أن يكون ذلك خلال الثقب الدودى.

لعل كونًا جديدًا قد تفجر وتطاير فى فضاء حجرتك الآن وأنت تقرأ هذه الصفحة، إلا أنك لن تحس به على الإطلاق، ذلك لأن الدليل الوحيد على وجوده ليس سوى فوهة ثقب دودى، وثقب أسود أصغر من قطر البروتون، محدثا تغضنًا فى نسيج الزمكان فى حجرتك.

معنى ذلك بطبيعة الحال أن كوننا يحتمل أن يكون قد نشأ بنفس الطريقة، كنتوء لكون آخر، وأن نسيج الزمكان بأكمله قد يكون عبارة عن زبد من فقاعات كونية تنمو وتنفصل متصلة بالثقوب الدودية، ممتدة إلى اللانهاية فى كافة الاتجاهات، أو تعود وتنوى فى خضم ذلك الزبد. (شكل ٨-٣).



(شكل ٨-٣) يمكن فى الواقع أن يكون كوننا أحد نتوءات لكون اخر.

على أن هذا كله لم يكن ليُعتبر سوى شطط خيال افتراضى للعلم، ينشِّط خيال كتاب القصص الخيالية، لا يؤخذ بجدية بأية حال، لولا الاكتشاف المثير الذى حدث فى الثمانينات. فطبقًا لبعض صور نظرية الأكوان الوليدة، قد تتسرب معلومات من كون وليد إلى الكون الأم عبر الثقوب الدودية. فلو كان الأمر صحيحا، فإن ذلك سوف يحل لغزًا طال أمده فى علم الكونيات، ألا وهو الثابت الكونى cosmic constan كما وأنه لو صحَّت هذه الفكرة، فإن ذلك من شأنه أن يفسر قيم ثوابت علم الفيزياء، مثل ثابت الجاذبية وقيمة شحنة الإلكترون.

ثابت آينشتاين المتلاشى :

طرح هوكنج اقتراحه بأثر فكرة الثقوب الدودية فى تغيير مسار ميكانيكا الكم عام ١٩٨٧ . لقد ظن فى البداية أن هذا من شأنه أن يغير ثوابت الطبيعة بطرق لا يمكن توقعها، بما يجعل فهم الفيزياء على المستوى الأوَّلى أمرًا فى حكم الاستحالة المطلقة. على أنه بعد عام واحد فقط، أى فى عام ١٩٨٨ اقترح سيدنى كولمان Cidney Coleman من جامعة هارفارد أن الأمر قد يكون على العكس من ذلك تمامًا؛ ففى بحثين رائدين ذهب إلى أنه بدلا من أن ينظر إلى ميكانيكا الكم على أنها غير قابلة للتنبؤ على أكثر المستويات أولية، قد تكون الثقوب الدودية هى نفسها ما تعطى تلك الثوابت فى الواقع قيمتها.

وأفضل مثال لذلك هو تلاشى الثابت الكونى، لقد أدخل آينشاين هذا الثابت لمنع الكون الذى تصفه نظريته من التمدد أو الانكماش، حيث إن النظرية فى ثوبها الأولى كانت تحتِّم أن يكون الكون غير ساكن بالمرة، وهو ما يناقض الرأى السائد آنذاك. كان أول مطلب لتحقيق ذلك أن يكون الثابت معبرًا عن قوة طاردة مضادة للجاذبية، فهى التى تؤدى بالكون إلى الانكماش. وبعد أن ثبت أن الكون يسير إلى التمدد بالفعل(١) زالت الحاجة لذلك الثابت، إذ وافق التمدد تنبؤ النظرية تماما. أما لو أبقينا على هذا

(١) يرجع الفضل فى هذا الكشف إلى العالم الفلكى الشهير هبل، والذى يسمى باسمه – تكريمًا له – المرصد الفضائى – المترجم

الثابت فى النظرية رغم عدم الحاجة إليه، فإن من شأن ذلك أن يتمدد الكون بسرعة أعلى مما نراها عليه حقيقة، هذا لو أضفناه موجباً، أما لو أضفناه سالباً لتمدَّد الكون بسرعة أقل من سرعته الحقيقية.

على أن الاهتمام بهذا الثابت قد تجدد فى الثمانينات، بعد اكتشاف أن طبيعة التمدد الكونى تفسر بصورة أفضل بافتراض مرحلة التضخم التى ذكرناها سابقًا، والتى لا تستغرق إلا جزءا من الثانية الأولى من تفجر المفردة. فهذا التمدد المهول، والذى أنتج كرة الانفجار العظيم المستعرة، يعتقد أنه قد استمد عنفوانه من حالة من الضغط السالب، تكونت بسبب طاقة هائلة متجمدة فى قطع من الأوتار الكونية سابحة فى الفضاء وقتها، إنها الأوتار التى وجد فيها مات فيسرMat Visser بغية الحضارة المتقدمة لوضع دعامات لفوهة الثقب الدودى القابل للعبور.

وحين قدَّم جوث فكرة التضخم، لم يجد الفيزيائيون صعوبة فى مد الفراغ بالطاقة المطلوبة له، ولكن المشكلة التى واجهتهم هى ماذا حدث للثابت الكونى بعد ذلك؟ كيف تمكَّن من التلاشى بعد انتهاء مرحلة التضخم.

ويمكن إدراك حجم المشكلة بالنظر إلى مقياس بلانك. إنه فى الواقع الطول الكمى، أصغر مسافة ذات معنى على الإطلاق، فعلى مسافة أصغر يحتدم تشويش نسيج الزمكان نتيجة عدم اليقين الكمى. إن هذه المسافة هى ٤×١٠ $^{-٣٣}$ سم، أى رقم ٤ مسبوقا باثنين وثلاثين صفراً عشريا!!

وقد تصادف أن كان بالإمكان وصف الثابت الكونى بمدلول المسافة أيضا، لأنه (مثل الجاذبية) يعتبر مقياسا لكيفية أن قوة بين جسمين تتغير بتغير المسافة بينهما. وتُبيِّن الكيفية التى يتمدد بها الكون اليوم أن الثابت الكونى يجب أن يكون حاليا غاية فى الصغر بالمقارنة بمسافة بلانك ذاتها. ومن الصعب أن نرى كيف تكون قوة بهذا الصغر ولا تتلاشى كلية، وتفسر الثقوب الدودية كيف حدث هذا التلاشى.

يعتبر الثابت الكونى مثل الجاذبية، من خلق الهندسة، تذكَّر: «الفضاء يخبر المادة كيف تتحرك، والمادة تخبر الفضاء كيف ينحنى». فلو أن لديك فهما للهندسة العامة للكون، بمدلول انحناء الزمكان، فسوف يكون لديك فهم للتمدد، بما فى ذلك تأثيرات الجاذبية وطاقة الفراغ. ولكن طبقا لفكرة الثقوب الدودية، فإن الهندسة التى عليك أن تفهمها ليست فقط هندسة كوننا، بل كل الأكوان المرتبطة ببعضها البعض بالثقوب

الدودية، وهو ما يسمى «الكون الفوقى .meta-universe» وليس من الممكن بطبيعة الحال دراسة طبيعة هذه الهندسة، ولكن بتطبيق قواعد فيزياء الكم إلى حسابات هندسة الزمكان، يعتقد علماء من أمثال هوكنج وكولمان أن بإمكانهم أن يعرفوا أى نوع من الهندسة مسموح بها.

وهنا يدخل أسلوب فاينمان؛ تجميع التواريخ، وفكرة الأكوان المتعددة فى الموضوع. فحينما نفكر فى جسيمات منفردة تتحرك من موضع لآخر، يدفعنا أسلوب فاينمان إلى تجميع كافة الاحتمالات للمسالك المتاحة، لكى نجد أقرب احتمال لطريقة انتقال الجُسيم بين الموضعين. أما حينما نتعامل مع الجاذبية، فإن الكمية الهامة (والتى بمعنى معين تتعلق بموضع جُسيم فى أية لحظة) تكون هى الهندسة الكلية للفضاء ثلاثى الأبعاد فى لحظة معينة. ويمكن وصف تاريخ الكون بمفهوم تطور الهندسة الكونية – التغير فى شكل الكون – من لحظة لأخرى، بالضبط كما يمكن وصف مسار جسيم يتغير فى موضعه من لحظة لأخرى. وعلى هذا الأساس، فإن الفكرة التى تقف وراء الجاذبية الكمية هى أنها يجب أن يكون متاحًا أن نصف التطور الفعلى للكون عن طريق تجميع كل الطرق – وبالمغزى الكمى الصحيح – التى يمكن بها أن يتطور الفضاء من هندسة إلى هندسة أخرى – متضمنًا ذلك كل هندسات ثقوب الديدان التى تربط أجزاء الكون الفوقى.

والآن، لا يزال الأمر غاية فى الصعوبة. ولكن بوضع بعض الفروض التبسيطية (منها أن نتعامل مع المشكلة بمنظور هندسة رباعية الأبعاد بدلاً من ثلاثة أبعاد فراغية مضافة إليها بعد الزمن) يعتقد المنظرون أن بإمكانهم تحديد بعض الخصائص العامة تكون لأية فقاعة أثناء تمددها خلال الفضاء الفوقى. من ذلك مثلاً تسرب المعلومات بين كون وآخر (بما فى ذلك كوننا) عبر الثقوب الدودية. وإذا ما بدأت فقاعة بثابت كونى لا يساوى الصفر، فإنه قد اتضح أن التفاعلات التى تدور عبر الثقب الدودى تنتج تأثيرًا يساوى ويضاد الثابت الأصلى، بحيث يتلاشيان.

يتصل هذا بخصيصة للعالم الكمى، تظهر أكثر قوة بصفة خاصة فى أسلوب تجميع التواريخ، وتُسمى «مبدأ الفعل الأقل .least action principle» وبلغتنا الدارجة، يقول هذا المبدأ إن النظام الكمى سوف يتبع الخط الذى يمثل أقل مقاومة من حالة لأخرى، فالجسيم حين ينتقل من مكان لآخر مثلاً، سوف يجد الأمر أكثر يسرًا حين يتحرك فى خط مستقيم، (أو بالأحرى فى مسار الجيوديسى)، ومن ثم يكون ذلك هو الأقرب احتمالا، بالضبط كما ينحدر الماء من المرتفع إلى المنخفض، وليس العكس.

وفى حالة الثابت الكونى، فهو يمكن أن يتخذ أية قيمة، بما فى ذلك الصفر، وكما ينحدر الماء إلى أدنى مستوى للطاقة، ينخفض هذا الثابت - حين يجد الفرصة المتاحة إلى أدنى قيمة، إلى أن يتلاشى كلية. ولكن الكلمة الجوهرية هنا هى «أن يجد الفرصة المتاحة»، فهى لن تكون بالنسبة لكون منعزل، بمعنى أنها لا تُتاح إلا من خلال الثقوب الدودية، فبدون الثقوب الدودية ، يكــون من المستغرب تمامًا أن يكون الثابت صفراً، ومع الثقوب الدودية ، يكون من المستغرب تماما ألا يكون صفراً.

الأكثر من ذلك أن نفس الحسابات تخبرنا بأن الثوابت الأخرى فى الطبيعة، مثل ثابت الجاذبية، يجب أن تتخذ لنفسها أقل قيمة متاحة، بسبب نفس التأثيرات المتبادلة خـلال الثقـوب الدودية، والتى تؤدى إلى سـريان مـبدأ أقل فـعل. ليس مـعنى ذلك أن الحسابات تمكننا من معرفة ما يجب أن تكون عليه قيمٍ هذه الثوابت، فلا يزال الطريق أمام خطوة كهذه طويلا، ولكنها المرة الأخرى التى يتلمس فيها العلماء إشارة لتعليل سبب وجود الثوابت بقيم محددة. وليس من عجب والأمر كذلك أن يطلق كولمان على هذا «التحديد الأعظم The big fix» ، وأن يتأمل الكثيرون من المنظرين فى مضامين هندسة الثقوب الدودية. وأغلب هذه الأعمال تتخطى بمراحل نطاق كتابنا هذا، ولكن مضموناً معيناً يرجعنا إلى خطه الرئيسى، فلو أن الكون الفوقى هو بالفعل على صورة فقاعات كونية مرتبطة بثقوب دودية، فإن كل فقاعة، أى كل كون، يكون منغلقًا تمامًا على نفسه، بنفس منطق انغلاق الثقب الأسود على نفسه، حانيًا الزمكان تماما من حوله. وعلى هذا التصور، فإن كوننا منغلق تمامًا على نفسه، ويعنى ذلك أنه سوف يعود للانكماش، عائداً مرة أخرى إلى المفردة، ويعتمد ما يحدث له عندئذ اعتماداً وثيقًا على طبيعة الثقب الأسود الذى يقبع حاليًا داخل تلك المفردة.

هل الكون متذبذب ؟ :

بالطبع كوننا منغلق على نفسه بكل تأكيد، سواء أكان متصلاً بثقوب دودية أم لا. مرة أخرى تجد تفاصيل ذلك فى كتابى In Search of The Big Bang ولكن قضية نشأة الكون من لا شىء، على أساس أنه نتاج اضطراب كمى، تعتمد برمتها على كونه نظاما منغلقا على نفسه، وإن فكرة أن الكون جميعه هو ثقب أسود تبدو غريبة للوهلة الأولى، خاصة إذا ما ظللت تنظر للثقب الأسود فقط على أنه جسمٍ فائق الاكتناز فى الكتلة. ولكن تذكر أن الثقب الأسـود هـائـل الكتلـة الذى يكمن قابعًا فى قلب أشـبـاه النجوم لا تزيد كثافته عن كثافة الماء، فكلما كان حجم الثقب الأسود كبيراً، قلَّت الكتلة المطلوبة له

لكى يحنى الزمكان من حوله. إن الحسابات مباشرة، وتشير إلى أنه لكى تحنى الفضاء فى شكل الكون بهذه الطريقة فإنك لا تحتاج لأكثر من ثلاث ذرات من الهيدروجين فى كل متر مكعب من الفضاء.

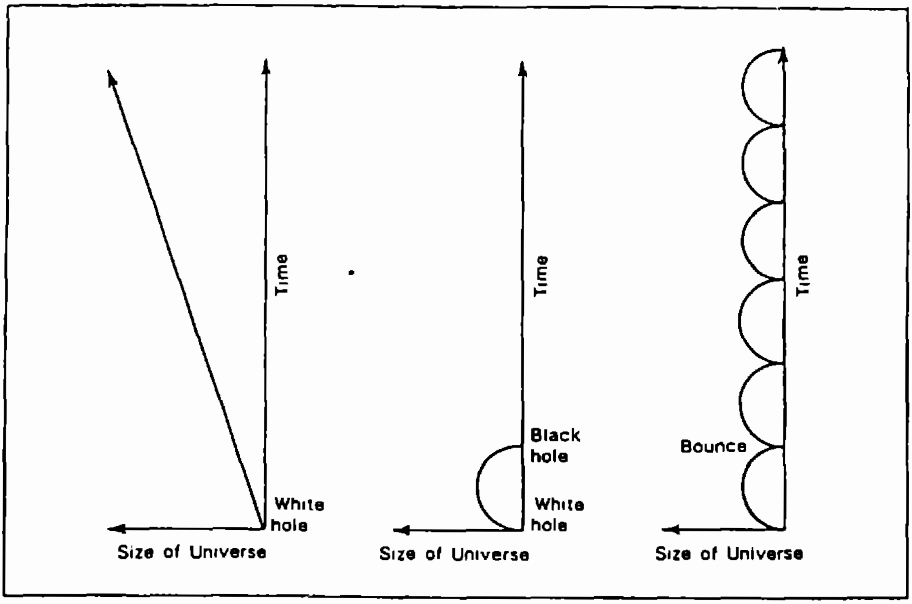
يُمثل هذا بطبيعة الحال القيمة المتوسطة، فلا مانع من أن تكدس بلايين من الذرات فى كتلة نجم، طالما أن لدينا نجوما منتشرة عبر الكون بالقدر الكافى لتنفيذ المطلوب. إن كافة النجوم المتألقة داخل المجرات البرّاقة لا تمثل فى الواقع أكثر من واحد بالمائة من القيمة الحرجة للكثافة المطلوبة، ولكن يوجد دليل قاطع على وجود مادة تبلغ على الأقل عشرة أضعاف قدر تلك القيمة، من المحتمل وجودها على صورة نجوم خافتة (الأقزام البنية brown dwarfs)، يكشف عنها عن طريق تأثيرها التجاذبى مع النجوم البراقة. كما أنه يوجد دليل دامغ من دراسة طريقة تشكيل المجرات على وجود ما يبلغ أكثر من عشرة أضعاف للقيمة الأخيرة على هيئة تراب كونى بين المجرات. هذا الجزء المعتم الذى يشكل ٩٠ بالمائة من الكون يسمى «المادة الباردة المعتمة»، وهى على عكس النجوم والمجرات موزعة توزيعًا أقرب ما يكون للتساوى. فى هذه الحالة، من المحتمل أن يعبر حجرتك الآن عشرات من هذه المادة التى تساعد على تماسك الكون حول نفسه وتجعل منه ثقبا أسود. لن تكون هذه ذرات عادية، بل نوعا مختلفًا من البقايا المتخلفة عن الانفجار العظيم، وتصمم حاليا العديد من التجارب للكشف عن هذه الجسيمات، والأمل معقود على تنفيذ ذلك قبل نهاية القرن العشرين(١)

لكى نرى ما يعنيه ذلك على مصير الكون، يمكننا العودة للفكرة القديمة لسرعة الهروب، نفس المفهوم الذى دفع جون ميتشل إلى التفكير فى الثقوب السوداء (وإن كان باسم مخالف) منذ عدة قرون مضت. تخيل واحدا من ثقوب جون ميتشل السوداء، له تلك الجاذبية التى تمنع أى شىء، حتى الضوء، من الإفلات من قبضته، لو أننا أطلقنا قذيفة من سطحه، فسوف ترتفع بقدر ما، ثم تسكن، ثم تؤوب راجعة إليه. تخيل نفس النجم وقد دب النشاط فى قلبه فجأة بطاقة هائلة لسبب أو لآخر، دفعته للانتفاخ بصورة غير عادية، إن كل ذرة فيه تكون مثل تلك القذيفة ، يمكنها أن تنتشر عن مركز ثقل الثقب لفترة ما، ثم تسكن لتعود إليه. والآن، تخيَّل أن المادة السوداء هى الكون

(١) هناك احتمال معقود أيضا على مساهمات فى الكتلة الكلية للكون من قبل أشياء غير عادية، منها مثلا الأوتار الكونية المتخلفة عن الانفجار العظيم، ولكن الأمل معقود على المادة المعتمة الباردة أكثر من أى شىء آخر، انظر كتابى (The Omega Point (Bantam, Corgi, London, ١٩٨٨) .

بأسره، وأن الذرات قد حلّت محلها المجرات، فمع تمدد الكون تتباعد المجرات، ولكن مع مرور الوقت وبتأثير التجاذب بينها سوف تنخفض سرعة تباعدها، ثم تتوقف، ثم تعود للتقارب، إلى أن ينكمش للمفردة. إن التشبيه ليس قاطعا، ولكن الصورة جيدة بالقدر الكافى. هذا فى الواقع هو مصير الكون، وإن احتمال أن يتصرف الكون بهذه الصورة كان قائما منذ الأيام الأولى من علم الكونيات، حينما دُرست حلول معادلة آينشتاين.

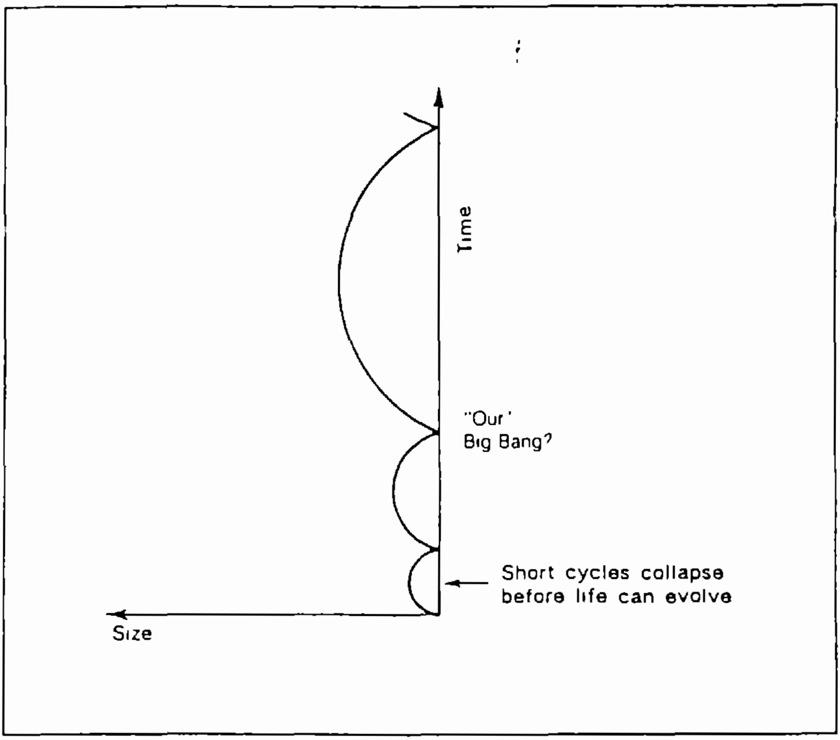
ومنذ ذلك الوقت، تساءل بعض الكونيين عما إذا كان من المحتمل أن ينعكس الانكماش بدوره والكون فى طريقه للمفردة. هل يمكن والكون فى حالة هائلة التركيز - ولكن ليس بصورة لانهائية - أن يحدث شىءٌ ما يجعله يرتد فى دورات من التمدد والانكماش بصورة سرمدية؟ إن لهذه الفكرة جذبا لا ينكر (انظر شكل ٨-٤)، ليس أقلها أنها تزيل التساؤل عما حدث قبل تكون الكون، وعما يحدث بعد نهايته. ولكن إلى عهد قريب لم يكن النموذج المتردد للكون يعتبر ناجحًا، بداية لتعارضه مع نظرية المفردة لبنروز-هوكنج، ثم إن هناك صعوبات أخرى.



(شكل ٨-٤) ثلاثة «تواريخ» محتملة للزمن، قد يكون ممتداً بلا نهاية، وقد يكون متمدداً ثم منكمشًا إلى فناء تام، وقد يكون مترددا بين التمدد والانكماش بصورة سرمدية.

إنَّ ما بدا عقبةً كئوداً فى وجه نموذج الكون المتردد هى طريقة تنامى الانتروبيا من دورة للأخرى، والانتروبيا هى الخصيصة المرتبطة بعلم الديناميكا الحرارية، والتى تقيس مدى اللانظام فى الكون، وهى مرتبطة بدرجة الحرارة العامة فيه. فالانتروبيا فى تزايد دائم، وهى تعبر فى ذلك عن سريان الزمن. فلو أننى أريتك صورة لقارورة فوق منضدة، ثم صورة أخرى للقارورة مهشّمة على الأرض، فإنك تعرف على الفور أى الصورتين أسبق فى الالتقاط من الأخرى. إن حالة اللانظام (المهشمة) تأتى تالية لحالة النظام (السليمة).

فلو أن الكون كان بسبيله للانكماش، فإنه يصبح من الصعب أن ترى إلى أى مدى يُؤثر ذلك على سريان الزمن وتزايد الانتروبيا. وعلى الرغم من أن بعض العلماء قد اقترحوا أن تكون الفترة الانكماشية هى صورة معكوسة تماماً من التمددية، فيه يعود الزمن منعكسا تسير فيه القارورة من الحالة المهشمة إلى السليمة، فإن هذا الاقتراح لم يؤخذ بجدية من الكثيرين. فالاعتقاد أكثر شيوعا بأن تزايد الانتروبيا سار فى المرحلة الانكماشية أيضا. وقد سارت الحسابات فى هذا الاتجاه فى الثلاثينات بواسطة تولمان R.C. Tolman وتأكدت فى السبعينات بواسطة دافيد بارك David Park ولاندسبرج P.T. Landsberg ويتمثل تأثير التزايد المستمر للانتروبيا على النموذج الترددى للكون فى أنه يكون فى ارتداده أكثر حدة، فيعود للانفجار بقوة أكثر من المرة السابقة. ويترتب على ذلك أن يكون التمدد التالى أكبر من سابقه. بذلك تتزايد الانتروبيا بلا نهاية، مؤدية إلى استعار أكبر فى الانفجار العظيم فى كل مرة، ومطيلة زمن كل دورة عن سابقتها (شكل ٨–٥).



(شكل ٨-٥) أهو أفضل التصورات؟ قد يكون كوننا متردداً بين انكماش وتمدد، كل تمدد أكبر من سابقه، بادئًا من بذرة كونية على صورة اضطراب كمى فى اللاشىء تمامًا.

على أن نقطة الضعف فى هذا كله هى أنه لا يحل مشكلة البداية، فلو أن الكون قد مرت به دورات من الانكماش والتمدد، لكانت درجة حرارته العامة أكبر من درجته الحالية، وهى ٣ درجات كلفن، بل يُحتمل أن تكون درجة حرارته أكبر مما يتيح الحياة التى ننعم بها. ولهذا السبب فإن أغلب الكونيين مرتاحون لفكرة الكون الذى بدأ من حادثة كونية هى الانفجار العظيم، وينتهى إلى حادثة مقابلة هى الانسحاق العظيم، دون أى ارتداد.

وقد تأكد الإجماع فى الثمانينات، حينما اقترحت الدراسة التى أجراها بنروز أنه قد لا يتصور للكون أن يكون نتيجة ارتداد من دورة سابقة، بسبب تزايد الانتروبيا إلى مستوى لم يدرسه أحد ممن سبقه. فقد وجد بنروز أن أحداً لم ينتبه إلى تأثير الثقوب

السوداء على الانتروبيا الكلية للكون فى المراحل الأخيرة من الانكماش. فانتروبيا الثقب الأسود تعتمد مثل درجة حرارته على مساحة أفق أحداثه، وهو ما يسهل حسابه. فالتمدد من المفردة عند الانفجار العظيم كان، كما نعرف من مشاهداتنا للكون، سلساً ومنتظماً، بمعنى أنه كان منخفض الانتروبيا. ولكن انكماش كون ككوننا إلى انسحاق عظيم سوف يكون مختلفا. فهو سوف يحتوى على الكثير من الثقوب السوداء، كلٌ يملك كمًا كبيرًا من الانتروبيا، تندمج جميعها فى نسيج مشوَّش تماما (كما لو أنك سحقت قطعة من الكيك بحيث تداخلت ثمرات الزبيب فى بعضها البعض) ومن ثم فإن الانتروبيا تكون مرتفعة للغاية. فلو أن كوننا كان نتيجة ارتداد من دورة سابقة، فإن هذه الانتروبيا يلزم أن تُفقَد خلال الارتداد بصورة ما.

كان هذا بمثابة إعلان وفاة للنموذج الترددى. ثم، فى واحدة من أكثر أحداث علم الكونيات درامية، أكد علماء كنديون فى أوائل التسعينات أنه حين تندمج الثقوب السوداء فى الانكماش فإن تسرب الانتروبيا لكى تبدأ مفردة نظيفة تماما يمكن أن يحدث.

ارتداد الثقوب السوداء :

نبع الاكتشاف المذهل من تفحص النظرية المتعلقة بما يحدث داخل الثقب الأسود الدوَّار الواقعى عند انسحاقه. لقد قام بهذه الدراسة فرنر إسرائيل من جامعة ألبرتا فى إدمنتون بكندا مع كل من إريك بواسون وأ. إى. سيكيما. تذكر أن هندسة لمثل ثقب كِر الأسود تتضمن أفقى أحداث، الخارجى؛ حيث لا يمكن لضوء أن يفر من الثقب، والداخلى؛ وهو آخر موضع يمكن لمراقب سقط فى الثقب أن يرى ضوءاً من الكون الخارجى. إنه عند ذلك الأفق الداخلى يرى المراقب المستقبل الخارجى يمر لحظيًا أمام عينيه، وحيث يوجد الانزياح الأزرق الشهير. ولكن ليس الانزياح الأزرق للموجات الكهرومغناطيسية فقط هو ما يجب أن تنشغل به.

حين يتكون الثقب الأسود الدوار الواقعى، لا يكون منتظمًا تمامًا، بل يسير الأفق الخارجى، كما يقول إسرائيل وسيكيما «مثل فقاعة صابون مرتعشة» إلى أن يستقر تماما عند الحالة النهائية التى تمثل حل كر لمعادلة آينشاين. هذا الارتعاش يسبب تذبذبا فى الزمكان، وهو المسمى بموجات الجاذبية التى تنتشر إلى الكون الخارجى

وإلى أفق الأحداث الداخلى، والموجات التى تنتشر فى اتجاه الكون تذوى، ومن ثم لا تعنينا فى شىء، ولكن تلك التى تتجه للداخل تعانى من انزياحٍ أزرق، كمثل الضوء أو أى إشعاع آخر. ولكن تذكر أن الطاقة مساوية للكتلة. فهذه الموجات المزاحة تجاه اللون الأزرق سوف تحمل طاقة تسبب زيادة غير عادية لكتلة الثقب الداخلية، ترفع من كتلة قدر كتلة الشمس خمس مرات فقط إلى رقم يعادل كتلة الكون الكلى بمقدار $١٠^{٥٧}$. إنه رقم لا يتصوره عقل، ولكنه من الشذوذ بحيث لم يشاهد له أية آثار بالمرة. إن حدثًا كهذا لن يُقدَّر له أن يخرج من داخل الثقب، فبالنسبة لمراقب خارجى فإنه سوف يستمر فى مشاهدة البصمة الجاذبية الأصلية لكتلة تعادل مقدار الشمس خمس مرات، انسحقت إلى ثقب أسود.

وحيث إنه لن يتاح معرفة أى شىء يحدث داخل الثقب الأسود فى الكون الخارجى، فإن البحث كان من الممكن أن تنحصر قيمته فى كونه نوعًا من التوقعات الميتافيزيقية، لولا أن الكون مصيره إلى الانسحاق يومًا ما. فما الذى سيحدث لهذه الكتل الهائلة حين تندمج الثقوب السوداء، وتتفاعل المجالات الجذبية المحبوسة بداخلها مع بعضها البعض؟

حتى نضع تصورًا لما يحدث، فإن المجرَّات تتداخل فيما بينها عند عام قبل الانسحاق العظيم، وعندها تكون درجة حرارة الإشعاع الخلفى أكثر ارتفاعًا مما فى قلب النجوم، فتتحطم وتنصهر فى خليط من الجسيمات والطاقة. وعند ساعة قبل الانسحاق العظيم، تأخذ الثقوب السوداء فى الاندماج، ويجعل ذلك الانسحاق مختلفا تماما عن كافة النماذج السابقة. يقول إسرائيل ورفاقه إنه بمجرد أن تندمج الثقوب السوداء بالكتل التى تضخمت بداخلها بالصورة المهولة السابق ذكرها، وبسبب المجالات الجذبية الرهيبة المشتركة فى العملية، فإن الانهيار لا يستغرق بعد ذلك سوى لمحة خاطفة مقدارها $١٠^{-٤٣}$ من الثانية، وهى الفترة المسماة «زمن بلانك» رغم أن الوقت الباقى على الانهيار هو ساعة كاملة، هذا الكون المنهار قبيل الوصول للمفردة بهذا القدر من الزمن، ينفجر بعنف مبتعدًا عنها. بهذه الصورة يتفادى الكون الانهيار إلى المفردة، ويرتد موافقًا لنظرية بنروز - هوكنج فى آخر المطاف.

يقترب هذا من تفادى مشكلة تزايد الانتروبيا، وإن لم يكن كلية، لقد أُزيلت بلا شك مشكلة الزيادة المهولة فى الانتروبيا فى ارتداد واحد، والتى أزعجت بنروز. ولكن لا

يزال تفاقم الانتروبيا بدرجة ضئيلة من دورة لأخرى قائمًا، حتى ولو بدا الكون وكأنه يخرج بسلاسة من المفردة. ورغم ذلك، فإنه يبدو بالفعل ممكنًا، بعد كل شيء، أن أصول الكون يمكن أن نتقصاًها إلى الوراء لعدة دورات تتقاصر بالتدريج حتى نصل إلى بذرة كونية أولية، كون وليد نتاج لاضطراب كمى فى اللاشىء بالمعنى الحرفى.

ربما يكون لهذا المفهوم وقع غير طيب على قلب صاحب القداسة جون ميتشل، إذ قد لا يدع للرب فرصة لتدبير شئون الكون، ولكن قد تجذبه فكرة أن الكون الذى نقطنه بأسره هو ثقب أسود، مندمج ومتفاعل مع الدورات السابقة فى انسحاق عظيم، وأنَّ هذه الفكرة قد تُفسر منشأ الكون. إن الثقوب السوداء هى مفتاح فهمنا لكل من المصير النهائى للكون ومنشأ الزمان والفضاء.

أ

أشعة اكس x-rays : أحد صور الإشعاع الكهرومغناطيسى، يقع طول موجته بين الأشعة فوق البنفسجية وأشعة جاما، أى يتراوح بين 10^{-12} و10^{-9} مترا.

أشعة كونية cosmic rays : جسيمات دون ذرية، أغلبها بروتونات، ولكن الإلكترونات ونويات كافة العناصر توجد فيها بنسب أقل، تنطلق فى الكون بسرعة مقاربة لسرعة الضوء، أساسًا مع انفجارات السوبرنوفا، ولكن أيضًا مع البقع الشمسية.

ألفا (جسيمات، إشعاع) Alpha (particles, emission) : جسيمات مكونة من نيوترونين وبروتونين (نواة ذرة الهيليوم) تنبعث من المواد خلال التحلل الإشعاعى (ظ).

إرج erg : وحدة لقياس الطاقة.

إشعاع emission : إطلاق موجات (ظ: الإشعاع الكهرومغناطيسى) أو جسيمات (ظ: الأشعة الكونية)، وطبقا للرؤية الحديثة فقد توحد المفهومان، حيث وجد للموجات خواص جسيمية (ظ: الفوتونات) وللجسيمات خواص موجية (ظ: الأشعة المادية).

إشعاع جاما gamma rays : الإشعاع الكهرومغناطيسى (ظ) الأقل من 10^{-12} مترا.

إشعاع كهرومغناطيسى electromagnetic rays : إطلاق موجات من مجال كهربى ومجال مغناطيسى متعامديْن، وهو ينتشر بسرعة الضوء (الضوء نفسه صورة من هذا الإشعاع يقع بين ٤٠٠ نانومتر إلى ٧٧٠ نانومتر). وبمفهوم الجسيمات فهو إطلاق الفوتونات (ظ).

إنتروبيا entropy : اصطلاح يشير إلى الطاقة المشتتة نتيجة العمليات الحرارية أو الحيوية، وكذا إلى ميل النظم للتشتت والعشوائية (انظر الملحق)

إيثير ether : وسط تخيلى كان يظن أن الموجات الكهرومغناطيسية تنتشر خلاله، وقد أثبتت التجارب فساد هذا الرأى.

انحلال بيتا beta decay : انحلال النيوترون إلى إلكترون وبروتون.

انزياح أحمر red shift : أ- الانزياح الأحمر الكونى cosmological red shift إزاحة خطوط الطيف (ظ) نحو اللون الأحمر إذا كان الجسم المشع يبتعد عن المراقب، وهو ما تَلاحَظ من رصد المجرات، مما تبين منه ظاهرة تمدد الكون (ظ: الكون المتمدد). ب- الانزياح الأحمر الجذبى gravitational red shift : مط الطول الموجى للضوء نتيجة مط الزمن فى تشوه الزمكان بفعل جاذبية النجوم كبيرة الكتلة.

انزياح أزرق blue shift : لو أن جسمًا متجهًا ناحيتك وهو يشع الضوء، فإن الأشعة تتداخل فى نفسها نتيجة للحركة، فتصير أقصر طولا. ولأن الضوء الأزرق أقصر فى الطول من الأحمر، فإن الضوء يتغير لونه تجاه اللون الأزرق، ويسمى هذا التأثير انزياح أزرق (ظ: انزياح أحمر). يعتبر الانزياح الأزرق دليلا على انكماش الكون، كما أن الانزياح الأحمر دليل على تمدده.

الانفجار العظيم big bang : انفجار من المادة والطاقة الإشعاعية نشأ خلالها الكون من مفردة (ظ) (أو من المحتمل من كينونة ذات بعد بلانك (ظ)) وذلك من حوالى ١٥ بليون عام.

ب

بلازما plasma : غاز مكون من نويات الذرات بعد تعرية الذرات من إلكتروناتها.

بيتا (جسيمات، إشعاع) beta (particles, emission) : الإلكترونات المنبعثة من المواد المشعة خلال النشاط الإشعاعى (ظ)

تأثيـر دوبلر doppler effect : التـغيـر فى خطوط الطيف بحسب تحـرك الجسم المشع بالنسبة للراصد، فإذا كان مقتربًا تُزاح الألوان تجاه اللون الأزرق، وإذا كان مبتعدا تكون الإزاحة تجاه اللون الأحمر (ظ: انزياح أحمر)

تحلل إشـعـاعى radio decay (نشـاط إشـعـاعى): إطلاق نويات المواد الثـقـيلة لجسيمات ألفا (ظ) وبيتا (ظ) وأشعة جاما (ظ) لتتحول إلى عناصر أخف.

تسارع، انظر عجلة

تعادلية (مبدأ الـ) equivalence : مبدأ فى النظرية النسبية العامة، ينص على أنه لا يمكن التفرقـة بين الآثار المحلية الملحـوظة لمجـال الجـاذبية وبين الآثار الناتجـة عن الحركة المتسارعة لإطار الإسناد.

تفاعل متسلسل chain reaction : فى الانشطار النووى (النشاط الإشعاعى الناتج عن قـذف النواة بالنيوترونات) تتسـبب جسيمـات ألفا الناتجـة من انشطار نواة فى انشطار الأنوية المجاورة، مما يعطى الانشطار خاصية التضاعف المطَّرِد.

تفسـير كوبنـهاجن (*) Copenhagen interpretation : المبدأ الذى أسست عليه ميكانيكا الكم، والذى يعطى الظواهر الكمية صفة الاحتمال وليس القطع طبقا لمبدأ عدم اليقين (ظ)، ويقبل التعارض بين الظواهر الكمية كظواهر متكاملة طبقا لمبدأ التكاملية (ظ).

تكامليـة (*) (مـبدأ الـ) complementarity : المبدأ القـائل بأن الظواهر الكمـيـة المتعارضة هى فى الواقع متكاملة، كالنظر للإلكترون كموجة أو كجسيم .

تماثل (*) (مبدأ التماثل العام) covariance : مبدأ فى النظرية النسبية العامة بمقتضاه يجب أن تُعامل كافة أُطر الإسناد فى الزمكان (ظ) معاملة واحدة، وبالتالى يجب أن تكون المعادلات معبرة عن هذا الحياد.

تنسور tensor : (ظ: موتر)

ث

ثابت هبل Hubble constant : معدل زيادة سرعة المجرات بالنسبة لبعدها عن النظام الشمسى (من ٥٠ إلى ١٠٠ كيلومتر/ثانية لكل مليون فرسخ نجمى (الفرسخ النجمى parsec = ٣,٢ سنة ضوئية).

ثقب أسود black hole : منطقة فى الفضاء لا تسمح لأىّ شىء، بما فى ذلك الضوء، بالفرار منها. فالمجال الجذبى لها من القوة بحيث أن الضوء المنبعث للخارج يُعانى من انزياح أحمر لانهائى يفقده طاقته كلية.

ج

الجاذبية gravity : قوة التجاذب بين الأجسام المادية.

جسم أسود black body : جسم مثالى افتراضى، يتصور أنه يمتص جميع الأشعة الساقطة عليه، ولا يعكس منها شيئًا، وعند تسخينه يفترض أنه يشع كل موجات الطيف، وكان لمخالفة التجارب لهذه الفرضية أساسًا لوضع النظرية الكمية (ظ).

جسيم أولى elementary particle : الجسيمات التى تكون اللبنات الأولية لبناء المادة والطاقة، كالفوتونات واللبتونات (ومنها الإلكترونات) والبايونات (ومنها البروتونات والنيوترونات) وغيرها.

جيوديزى geodisic ظ: جيوديسى

جيوديسى geodisic : أقصر مسافة بين نقطتين على مسطح معين، وهو يتأثر بطبيعة المسطح، فبالنسبة للسطح المستوى يكون الخط المستقيم، ولكنه للكرة قوس دائرى، ولغير ذلك من الأسطح يأخذ أشكالا أخرى.

الجيوديسيا geodesics : علم دراسة الأسطح، ومنها تحديد أقصر أو أطول مسار لجسم على سطح ما.

ح

حائط أزرق blue sheet : الضوء الساقط فى ثقب أسود يعانى من انزياح أزرق لانهائى، ومعنى ذلك أن الطاقة تتراكم لتكوِّن حائطا حول الثقب يمنع أية محاولة لاستخدام الثقب كممر عبر الكون، ويكون على مصممى الآلات الزمنية التفكير فى وسيلة لثقب مثل هذه الحوائط . حد شاندراسيخار chandrasekhar limit : أثقل ما يكونه نجم قزم أبيض.

حركة براونية brownean motion : الحركة العشوائية للنباتات المجهرية داخل السوائل واستنبط منها تكون المواد من جزيئات.

الحضيض الشمسى perihelion : أقرب موضع لكوكب من الشمس.

خ

الخط الكونى world line : منحنى يمثل مسار جسم فى الزمكان.

خط كونى world line : مسار جسم فى الزمكان

د

الدجاجة س-١ Cygnus X1 أقوى مصدر للأشعة السينية فى كوكبة الدجاجة، ولعله ثقب أسود

درجة الحرارة المطلقة absolute temperature : درجة الحرارة مقيسة بالنسبة للصفر المطلق (ظ)

الديناميكا الحرارية thermodynamics : فرع الفيزياء الذى يُعنى بدراسة العلاقات الكمية بين الطاقة الحرارية والأشكال الأخرى من الطاقة.

ذ

ذراع الجبار Orion arm : ذراع المجرة التى توجد به الشمس

ذرة atom : أصغر وحدة بنائية لعنصرٍ ما.

زمكان spacetime : تصور رياضى لكون مبنى على أساس نظرية النسبية الخاصة يندمج فيه بُعد الزمن مع الأبعاد الفراغية الثلاثة .

س

سديم nebula : سحابة من الغاز والغبار الكونى

سديم الجبار Orion : أسطع مناطق هـ٢ فى السماء، تتولد النجوم بداخلها

سرعة الهروب escape velocity : أدنى سرعة مطلوبة لكى يتمكن جسم من الإفلات من جاذبية جرم سماوى.

سنة ضوئية light year : المسافة التى يقطعها الضوء فى سنة كاملة (ظ: ضوء)

الشعرى الشامية Alpha Canis Minoris, Procyon : ثامن أسطع نجوم السماء فى كوكبة (الكلب الأصغر)

الشعرى اليمانية Sirius : أسطع نجوم السماء فى كوكبة (الكلب الأكبر)

ص

صفر المطلق absolute zero : – ٢٧٣,١٥ درجة مئوية.

ض

ضوء، سرعة الـ light (speed of) : ٣٠٠ ألف كيلومتر فى الثانية.

ط

طيف spectrum : ترتيب الموجات الإشعاعية طبقا لترddاتها.

ظ

ظ: = انظر المادة

الظاهرة الكهروضوئية photoelectric effect : انبعاث الإلكترونات من بعض المواد عند سقوط الضوء عليها.

ع

عجلة acceleration : معدل التغير فى مقدار السرعة أو فى اتجاهها. ينص قانون نيوتن الثانى أنها تتناسب طرديا مع القوة المؤثرة، وعكسيا مع كتلة الجسم.

عطارد mercury : أقرب كوكب فى المجموعة الشمسية للشمس.

علم التفاضل والتكامل calculus : العلم الذى يبحث فى العلاقات بين معدل التغير بين الكميات المتغيرة. ويرجع الفضل فى وضعه إلى كل من نيوتن ولايبنز، كل على استقلال.

علم التفاضل والتكامل calculus : فرع من الرياضيات وضعه نيوتن.

ف

فوتون photon : جسيم الضوء أو الإشعاع الكهرومغناطيسى.

فوتونات photons : جسيمات الضوء طبقا لتفسير آينشتاين للظاهرة الكهروضوئية (ظ)، وهى تجمع بين صفتى الجسيمات والموجات.

ق

قــانون بقــاء الطاقــة law of conservation of energy: القــانون الذى يقــول بأن الطاقة لا تفنى ولا تخلق من عدم، بمعنى أن كمية الطاقة فى الكون ثابتة.

قانون بقاء المادة law of conservation of matter : القانون الذى كـان يقول بأن المادة لا تفنى ولا تخلق من عدم، وذلك قبل اكتشاف إمكانية تحويل المادة إلى طاقة.

قرص تراكمى accretion disk : كل شىء فى الكون يدور، ويحين يسقط غاز أو غبار فى قبضة جرم مكتنز، كأن يكون ثقبا أسود أو نجمًا نيوترونيًا، فإن سرعة الدوران للمادة المتساقطة تجعلها تلف حول محور الجرم على هيئة قرص دوار، يسمى بالقرص التراكمى. هذا القرص هو مصدر طاقة إشعاعية متفجرة من مثل هذه الأجرام.

القصور الذاتى inertia : خاصية احتفاظ الأجسام بحالتها من حيث السكون أو الحركة فى خط مستقيم وبسرعة ثابتة حتى تتأثر بقوة تغير من حالتها إذ ينص القانون الأول لنيوتن على أن الجسم يظل على حالته من حيث السكون، أو السرعة المنتظمة فى نفس الاتجاه، مالم تُؤثر عليه قوة خارجية. ويطلق على هذه الظاهرة القصور الذاتى، ويقصد به أن الأجسام تعجز عن تغيير حالتها الحركية بذاتها. ويحس المرء بالقصور الذاتى حين تتغير سرعة المركبة التى يكون فيها، فيندفع إلى الأمام حين تقف فجأة، أو إلى الخلف حين تتحرك فجأة، ونفس الشئ إذا دارت بصورة مفاجئة.

قوانين الحركة laws of motion : القوانين الثلاثة لنويتن لدراسة حركة الأجسام تحت تأثير القوى.

ك

كم quanta : أصغر وحدة من الطاقة.

كوكبة الدجاجة Cygnus A : أقوى وأول ما اكتشف من المجرات الراديوية.

كوكبة النهر Eridani

الكون المتردد oscillating universe : تصور للكون على أنه يتأرجح بين التمدد والانكماش.

مادة معتمة باردة cold dark matter : تبين كيفية الحركات الكونية (للمجرات مثلا) تأثيرا تجاذبيا لكميات كبيرة من المادة غير المنظورة، وهناك العديد من النظريات حول ماهيتها.

مبدأ عدم اليقين uncertainty princicle : مبدأ وضعه هايزنبرج يقول باستحالة تحديد كافة الخصائص لجسم كالسرعة والموضع فى نفس الوقت بدقة كاملة.

مترى metric : (كاسم وليس كصفة) دالة مسافية، الدالة التى تحدد أقصر مسافة (المتقاصر أو الجيوديسى، ظ) لسطح ما، كقانون فيثاغورث بالنسبة للهندسة الإقليدية ذات السطح المستوى.

متقارب asymptotical : اقتراب منحنى من مستقيم دون أن يتلامس معه. مثال ذلك أنه حين تتزايد سرعة جسم بلا نهاية، فإنه يتقارب بدرجة أكثر وأكثر من سرعة الضوء ولكنه لن يصل إليها البتة.

متقاصر metric ظ: جيوديسى

مسار زمنى مغلق closed timelike loop CTL : رحلة خلال الفضاء والزمن، يعود المسافر بعدها إلى نفس نقطة البداية زمانًا ومكانًا، وهو ما يعنى ضرورة العودة فى الزمن فى جزء من الرحلة. هذه الرحلات ليست محظورة من وجهة نظر قوانين الفيزياء.

مستعر أعظم supernova : انفجار هائل لنجم محتضر يتولد عنه نجم نيوترونى.

مطياف spectroscop : جهاز قياس الطيف.

موجات الجاذبية gravity waves : شكل من الطاقة تبثّه النجوم الضخمة المتسارعة، تنبأت به النظرية النسبية العامة.

موجات المادة matter wave : موجات تمثل سلوك الجسيمات تحت ظروف معينة، ينظر إليها أحيانا على أنها موجات احتمالية تمثل احتمال وجود الجسيم فى موضع معين.

ن

النجوم النابضة pulsars : نجوم تعطى ومضات من الإشعاع، يعتقد أنها نجوم نيوترونية تدور بسرعة فائقة حول نفسها.

نشاط إشعاعى radioactivity : (ظ: تحلل إشعاعى)

نصف قطر الجاذبية gravity radius : ظ: نصف قطر شفارتزشيلد.

نصف قطر شفارتزشيلد Schwarzchild radius : أكبر نصف القطر لمادة متكورة يحدث عنده انفصال للفضاء نتيجة ذلك التكور.

نيوترون neutron : جسيم محايد الشحنة من مكونات نواة الذرة.

هـ

هندسة إقليدية Euclidean geometry : هندسة تتعامل مع الأسطح المستوية.

هندسة ريمانية (غير إقليدية) Riemammean geometry : هندسة تتعامل مع الأسطح غير المستوية.

و

وحدة مسافية فلكية astronomical unit : المسافة المتوسطة التى تقطعها الأرض فى مسارها حول الشمس، وتساوى حوالى ١٥٠ مليون ميل (٩٣ مليون ميل).

مسرد مصطلحات إنجليزى - عربى

ترجمة اجتهادية من المترجم

absolute temperature	درجة الحرارة المطلقة
absolute zero	صفر المطلق
accelaration	عجلة
action	فعل
Alpha Canis Majoris	الشعرى اليمانية
Alpha Canis Minoris	الشعرى الشامية
atom	ذرة
Beta decay	انحلال بيتا
big bang	الانفجار العظيم
black body	جسم أسود
black hole	ثقب أسود
brownean motion	حركة براونية
calculus	علم التفاضل والتكامل
chain reaction	تفاعل متسلسل
complementarity	تكاملية
covariance	تماثل
Cygnus A	الدجاجة أ
Cygnus X-1	الدجاجة س-١

Doppler effect	ظاهرة دوبلر
elementary particle	جسيم أولى
entropy	انتروبيا
equivalence	تعادلية
erg	إرج
Eridani	كوكبة النهر
ether	الإيثير
field	مجال
gamma rays	إشعاع (أشعة) جاما
geodesics	الجيوديسيا
geometry	هندسة
geometry, Euclidean	هندسة إقليدية
geometry, Reamanean	هندسة ريمانية
gravity	الجاذبية
gravity waves	موجات الجاذبية
Helium	الهليوم
Hubble constant	ثابت هبل
inertia	قصور ذاتى
inertia	قصور الذاتى
kinetic theory of gases	النظرية الحركية للغازات
law of consevation of energy	قانون بقاء الطاقة
law of consevation of matter	قانون بقاء المادة
laws of motion	قوانين الحركة

light	ضوء
light year	سنة ضوئية
magnet	مغنطيس
mechanical equivalent of heat	المكافئ الميكانيكى للحرارة
mercury	عطارد
nebula	سديم
nutrone	نيوترون
Orion	سديم الجبار، أسطع مناطق هـ٢ في السماء، تتولد النجوم بداخلها
Orion arm	ذراع الجبار، ذراع المجرة التى توجد به الشمس
oscilating universe	الكون المتردد
perihelion	الحضيض الشمسى
photolectric effect	الظاهرة الكهروضوئية
photon	فوتون
Pracyon	الشعرى الشامية
probabitity waves	موجات الاحتمال
Procyon	الشعرى الشامية، ثامن أسطع نجوم السماء فى كوكبة الكلب الأصغر
pulsares	النجوم النابضة
quanta	كم
radioactivity	نشاط إشعاعى

المشروع القومى للترجمة

١ – اللغة العليا (طبعة ثانية)	جون كوين	ت : أحمد درويش
٢ – الوثنية والإسلام	ك. مادهو بانيكار	ت : أحمد فؤاد بلبع
٣ – التراث المسروق	جورج جيمس	ت : شوقى جلال
٤ – كيف تتم كتابة السيناريو	انجا كاريتنكوفا	ت : أحمد الحضرى
٥ – ثريا فى غيبوبة	إسماعيل فصيح	ت : محمد علاء الدين منصور
٦ – اتجاهات البحث اللسانى	ميلكا إفيتش	ت : سعد مصلوح / وفاء كامل فايد
٧ – العلوم الإنسانية والفلسفة	لوسيان غولدمان	ت : يوسف الأنطكى
٨ – مشعلو الحرائق	ماكس فريش	ت : مصطفى ماهر
٩ – التغيرات البيئية	أندرو س. جودى	ت : محمود محمد عاشور
١٠ – خطاب الحكاية	جيرار جينيت	ت : محمد معتصم وعبد الجليل الأزدى وعمر حلى
١١ – مختارات	فيسوافا شيمبوريسكا	ت : هناء عبد الفتاح
١٢ – طريق الحرير	ديفيد براونيستون وايرين فرانك	ت : أحمد محمود
١٣ – ديانة الساميين	روبرتسن سميث	ت : عبد الوهاب علوب
١٤ – التحليل النفسى والأدب	جان بيلمان نويل	ت : حسن المودن
١٥ – الحركات الفنية	إدوارد لويس سميث	ت : أشرف رفيق عفيفى
١٦ – أثينة السوداء	مارتن برنال	ت : بإشراف / أحمد عتمان ١
١٧ – مختارات	فيليب لاركين	ت : محمد مصطفى بدوى
١٨ – الشعر النسائى فى أمريكا اللاتينية	مختارات	ت . طلعت شاهين
١٩ – الأعمال الشعرية الكاملة	چورج سفيريس	ت : نعيم عطية
٢٠ – قصة العلم	ج. ج. كراوثر	ت: يمنى طريف الخولى / بدوى عبد الفتاح
٢١ – خوخة وألف خوخة	صمد بهرنجى	ت : ماجدة العنانى
٢٢ – مذكرات رحالة عن المصريين	جون أنتيس	ت : سيد أحمد على الناصرى
٢٣ – تجلى الجميل	هانز جيورج جادامر	ت : سعيد توفيق
٢٤ – ظلال المستقبل	باتريك بارندر	ت : بكر عباس
٢٥ – مثنوى	مولانا جلال الدين الرومى	ت : إبراهيم الدسوقى شتا
٢٦ – دين مصر العام	محمد حسين هيكل	ت : أحمد محمد حسين هيكل
٢٧ – التنوع البشرى الخلاق	مقالات	ت : نخبة
٢٨ – رسالة فى التسامح	جون لوك	ت : منى أبو سنه
٢٩ – الموت والوجود	جيمس ب. كارس	ت : بدر الديب
٣٠ – الوثنية والإسلام (ط٢)	ك. مادهو بانيكار	ت : أحمد فؤاد بلبع
٣١ – مصادر دراسة التاريخ الإسلامى	جان سوفاجيه – كلود كاين	ت : عبد الستار الطوجى / عبد الوهاب علوب
٣٢ – الانقراض	ديفيد روس	ت : مصطفى إبراهيم فهمى
٣٣ – التاريخ الاقتصادى لإفريقيا الغربية	أ. ج. هوبكنز	ت : أحمد فؤاد بلبع
٣٤ – الرواية العربية	روجر آلن	ت : حصة إبراهيم المنيف
٣٥ – الأسطورة والحداثة	پول . ب . ديكسون	ت : خليل كلفت

٣٦ – نظريات السرد الحديثة	والاس مارتن	ت : حياة جاسم محمد
٣٧ – واحة سيوة وموسيقاها	بريجيت شيفر	ت : جمال عبد الرحيم
٣٨ – نقد الحداثة	آلن تورين	ت : أنور مغيث
٣٩ – الإغريق والحسد	بيتر والكوت	ت : منيرة كروان
٤٠ – قصائد حب	آن سكستون	ت : محمد عيد إبراهيم
٤١ – ما بعد المركزية الأوربية	بيتر جران	ت : عاطف أحمد / إبراهيم فتحى / محمود ماجد
٤٢ – عالم ماك	بنجامين باربر	ت : أحمد محمود
٤٣ – اللهب المزدوج	أوكتافيو پاث	ت : المهدى أخريف
٤٤ – بعد عدة أصياف	ألدوس هكسلى	ت : مارلين تادرس
٤٥ – التراث المغدور	روبرت ج دنيا – جون ف أ فاين	ت : أحمد محمود
٤٦ – عشرون قصيدة حب	بابلو نيرودا	ت : محمود السيد على
٤٧ – تاريخ النقد الأدبى الحديث (١)	رينيه ويليك	ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
٤٨ – حضارة مصر الفرعونية	فرانسوا دوما	ت : ماهر جويجاتى
٤٩ – الإسلام فى البلقان	هـ . ت . نوريس	ت : عبد الوهاب علوب
٥٠ – ألف ليلة وليلة أو القول الأسير	جمال الدين بن الشيخ	ت : محمد برادة وعثمانى الميلود ويوسف الأنطكى
٥١ – مسار الرواية الإسبانو أمريكية	داريو بيانويبا وخ. م بينياليستى	ت : محمد أبو العطا
٥٢ – العلاج النفسى التدعيمى	بيتر . ن . نوفاليس وستيفن . ج . روجسيفيتز وروجر بيل	ت : لطفى فطيم وعادل دمرداش
٥٣ – الدراما والتعليم	أ . ف . ألنجتون	ت : مرسى سعد الدين
٥٤ – المفهوم الإغريقى للمسرح	ج . مايكل والتون	ت : محسن مصيلحى
٥٥ – ما وراء العلم	چون بولكنجهوم	ت : على يوسف على
٥٦ – الأعمال الشعرية الكاملة (١)	فديريكو غرسية لوركا	ت : محمود على مكى
٥٧ – الأعمال الشعرية الكاملة (٢)	فديريكو غرسية لوركا	ت : محمود السيد ، ماهر البطوطى
٥٨ – مسرحيتان	فديريكو غرسية لوركا	ت : محمد أبو العطا
٥٩ – المحبرة	كارلوس مونييث	ت : السيد السيد سهيم
٦٠ – التصميم والشكل	جوهانز ايتين	ت : صبرى محمد عبد الغنى
٦١ – موسوعة علم الإنسان	شارلوت سيمور – سميث	مراجعة وإشراف : محمد الجوهرى
٦٢ – لذّة النّص	رولان بارت	ت : محمد خير البقاعى .
٦٣ – تاريخ النقد الأدبى الحديث (٢)	رينيه ويليك	ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
٦٤ – برتراند راسل (سيرة حياة)	آلان وود	ت : رمسيس عوض .
٦٥ – فى مدح الكسل ومقالات أخرى	برتراند راسل	ت : رمسيس عوض .
٦٦ – خمس مسرحيات أندلسية	أنطونيو جالا	ت : عبد اللطيف عبد الحليم
٦٧ – مختارات	فرناندو بيسوا	ت : المهدى أخريف
٦٨ – نتاشا العجوز وقصص أخرى	فالنتين راسبوتين	ت : أشرف الصباغ
٦٩ – العالم الإسلامى فى أوائل القرن العشرين	عبد الرشيد إبراهيم	ت : أحمد فؤاد متولى وهويدا محمد فهمى
٧٠ – ثقافة وحضارة أمريكا اللاتينية	أوخينيو تشانج رودريجث	ت : عبد الحميد غلاب وأحمد حشاد
٧١ – السيدة لا تصلح إلا للرمى	داريو فو	ت : حسين محمود

٧٢ – السياسى العجوز	ت . س . إليوت	ت : فؤاد مجلى
٧٣ – نقد استجابة القارئ	چين . ب . توميكنز	ت : حسن ناظم وعلى حاكم
٧٤ – صلاح الدين والمماليك فى مصر	ل . ا . سيمينوڤا	ت : حسن بيومى
٧٥ – فن التراجم والسير الذاتية	أندريه موروا	ت : أحمد درويش
٧٦ – چاك لاكان وإغواء التحليل النفسى	مجموعة من الكتاب	ت . عبد المقصود عبد الكريم
٧٧ – تاريخ النقد الأدبى الحديث ج ٢	رينيه ويليك	ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
٧٨ – العولمة : النظرية الاجتماعية والثقافة الكونية	رونالد روبرتسون	ت : أحمد محمود ونورا أمين
٧٩ – شعرية التأليف	بوريس أوسبنسكى	ت : سعيد الغانمى وناصر حلاوى
٨٠ – بوشكين عند «نافورة الدموع»	ألكسندر بوشكين	ت : مكارم الغمرى
٨١ – الجماعات المتخيلة	بندكت أندرسن	ت : محمد طارق الشرقاوى
٨٢ – مسرح ميجيل	ميجيل دى أونامونو	ت : محمود السيد على
٨٣ – مختارات	غوتفريد بن	ت : خالد المعالى
٨٤ – موسوعة الأدب والنقد	مجموعة من الكتاب	ت : عبد الحميد شيحة
٨٥ – منصور الحلاج (مسرحية)	صلاح زكى أقطاى	ت : عبد الرازق بركات
٨٦ – طول الليل	جمال مير صادقى	ت : أحمد فتحى يوسف شتا
٨٧ – نون والقلم	جلال آل أحمد	ت : ماجدة العنانى
٨٨ – الابتلاء بالتغرب	جلال آل أحمد	ت : إبراهيم الدسوقى شتا
٨٩ – الطريق الثالث	أنتونى جيدنز	ت : أحمد زايد ومحمد محيى الدين
٩٠ – وسم السيف (قصص)	نخبة من كُتاب أمريكا اللاتينية	ت . محمد إبراهيم مبروك
٩١ – المسرح والتجريب بين النظرية والتطبيق	باربر الاسوستكا	ت : محمد هناء عبد الفتاح
٩٢ – أساليب ومضامين المسرح الإسبانوأمريكى المعاصر	كارلوس ميجل	ت : نادية جمال الدين
٩٣ – محدثات العولمة	مايك فيذرستون وسكوت لاش	ت : عبد الوهاب علوب
٩٤ – الحب الأول والصحبة	صمويل بيكيت	ت : فوزية العشماوى
٩٥ – مختارات من المسرح الإسبانى	أنطونيو بويرو باييخو	ت · سرى محمد محمد عبد اللطيف
٩٦ – ثلاث زنبقات ووردة	قصص مختارة	ت : إدوار الخراط
٩٧ – هوية فرنسا (مج ١)	فرنان برودل	ت : بشير السباعى
٩٨ – الهم الإنسانى والابتزاز الصهيونى	نماذج ومقالات	ت : أشرف الصباغ
٩٩ – تاريخ السينما العالمية	ديڤيد روبنسون	ت : إبراهيم قنديل
١٠٠ – مساءلة العولمة	بول هيرست وجراهام تومبسون	ت : إبراهيم فتحى
١٠١ – النص الروائى (تقنيات ومناهج)	بيرنار فاليط	ت : رشيد بنحدو
١٠٢ – السياسة والتسامح	عبد الكريم الخطيبى	ت : عز الدين الكتانى الإدريسى
١٠٣ – قبر ابن عربى يليه آياء	عبد الوهاب المؤدب	ت : محمد بنيس
١٠٤ – أوبرا ماهوجنى	برتولت بريشت	ت : عبد الغفار مكاوى
١٠٥ – مدخل إلى النص الجامع	چيرارچينيت	ت : عبد العزيز شبيل
١٠٦ – الأدب الأندلسى	د. ماريا خيسوس روبييرامتى	ت : أشرف على دعدور
١٠٧ – صورة الفدائى فى الشعر الأمريكى المعاصر	نخبـة	ت : محمد عبد الله الجعيدى

١٠٨ – ثلاث دراسات عن الشعر الأندلسى	مجموعة من النقاد	ت : محمود على مكى
١٠٩ – حروب المياه	چون بولوك وعادل درويش	ت : هاشم أحمد محمد
١١٠ – النساء فى العالم النامى	حسنة بيجوم	ت : منى قطان
١١١ – المرأة والجريمة	فرانسيس هيندسون	ت : ريهام حسين إبراهيم
١١٢ – الاحتجاج الهادئ	أرلين علوى ماكليود	ت : إكرام يوسف
١١٣ – راية التمرد	سادى پلانت	ت : أحمد حسان
١١٤ – مسرحيتا حصاد كونجى وسكان المستنقع	وول شوينكا	ت : نسيم مجلى
١١٥ – غرفة تخص المرء وحده	فرچينيا وولف	ت : سمية رمضان
١١٦ – امرأة مختلفة (درية شفيق)	سينثيا نلسون	ت : نهاد أحمد سالم
١١٧ – المرأة والجنوسة فى الإسلام	ليلى أحمد	ت : منى إبراهيم ، وهالة كمال
١١٨ – النهضة النسائية فى مصر	بث بارون	ت : لميس النقاش
١١٩ – النساء والأسرة وقوانين الطلاق	أميرة الأزهرى سنبل	ت : بإشراف/ رؤوف عباس
١٢٠ – الحركة النسائية والتطور فى الشرق الأوسط	ليلى أبو لغد	ت : نخبة من المترجمين
١٢١ – الدليل الصغير فى كتابة المرأة العربية	فاطمة موسى	ت : محمد الجندى ، وإيزابيل كمال
١٢٢ – نظام العبودية القديم ونموذج الإنسان	جوزيف فوجت	ت : منيرة كروان
١٢٣ – الإمبراطورية العثمانية وعلاقاتها الدولية	نيقل الكسندر وفنانوليفا	ت: أنور محمد إبراهيم
١٢٤ – الفجر الكاذب	چون جراى	ت : أحمد فؤاد بلبع
١٢٥ – التحليل الموسيقى	سيدريك ثورپ ديڤى	ت : سمحه الخولى
١٢٦ – فعل القراءة	ڤولفانج إيسر	ت : عبد الوهاب علوب
١٢٧ – إرهاب	صفاء فتحى	ت : بشير السباعى
١٢٨ – الأدب المقارن	سوزان باسنيت	ت : أميرة حسن نويرة
١٢٩ – الرواية الاسبانية المعاصرة	ماريا دولورس أسيس جاروته	ت : محمد أبو العطا وآخرون
١٣٠ – الشرق يصعد ثانية	أندريه جوندر فرانك	ت : شوقى جلال
١٣١ – مصر القديمة (التاريخ الاجتماعى)	مجموعة من المؤلفين	ت : لويس بقطر
١٣٢ – ثقافة العولمة	مايك فيذرستون	ت : عبد الوهاب علوب
١٣٣ – الخوف من المرايا	طارق على	ت : طلعت الشايب
١٣٤ – تشريح حضارة	بارى ج. كيمب	ت : أحمد محمود
١٣٥ – المختار من نقد ت. س. إليوت (ثلاثة أجزاء)	ت. س. إليوت	ت : ماهر شفيق فريد
١٣٦ – فلاحو الباشا	كينيث كونو	ت : سحر توفيق
١٣٧ – مذكرات ضابط فى الحملة الفرنسية	جوزيف مارى مواريه	ت : كاميليا صبحى
١٣٨ – عالم التليفزيون بين الجمال والعنف	إيڤلينا تارونى	ت : وجيه سمعان عبد المسيح
١٣٩ – پارسيڤال	ريشارد ڤاجنر	ت : مصطفى ماهر
١٤٠ – حيث تلتقى الأنهار	هربرت ميسن	ت : أمل الجبورى
١٤١ – اثنتا عشرة مسرحية يونانية	مجموعة من المؤلفين	ت : نعيم عطية
١٤٢ – الإسكندرية : تاريخ ودليل	أ. م. فورستر	ت : حسن بيومى
١٤٣ – قضايا التنظير فى البحث الاجتماعى	ديريك لايدار	ت : عدلى السمرى
١٤٤ – صاحبة اللوكاندة	كارلو جولدونى	ت : سلامة محمد سليمان

١٤٥ – موت أرتيميو كروث	كارلوس فوينتس	ت : أحمد حسان
١٤٦ – الورقة الحمراء	ميجيل دى ليبس	ت : على عبد الرؤوف اليمبى
١٤٧ – خطبة الإدانة الطويلة	تانكريد دورست	ت : عبد الغفار مكاوى
١٤٨ – القصة القصيرة (النظرية والتقنية)	إنريكى أندرسون إمبرت	ت : على إبراهيم على منوفى
١٤٩ – النظرية الشعرية عند إليوت وأدونيس	عاطف فضول	ت : أسامة إسبر
١٥٠ – التجربة الإغريقية	روبرت ج. ليتمان	ت: منيرة كروان
١٥١ – هوية فرنسا (مج ٢ ، ج ١)	فرنان برودل	ت : بشير السباعى
١٥٢ – عدالة الهنود وقصص أخرى	نخبة من الكُتاب	ت : محمد محمد الخطابى
١٥٣ – غرام الفراعنة	فيولين فانويك	ت : فاطمة عبد الله محمود
١٥٤ – مدرسة فرانكفورت	فيل سليتر	ت : خليل كلفت
١٥٥ – الشعر الأمريكى المعاصر	نخبة من الشعراء	ت : أحمد مرسى
١٥٦ – المدارس الجمالية الكبرى	جى أنبال وآلان وأوديت فيرمو	ت : مى التلمسانى
١٥٧ – خسرو وشيرين	النظامى الكنوجى	ت : عبد العزيز بقوش
١٥٨ – هوية فرنسا (مج ٢ ، ج٢)	فرنان برودل	ت : بشير السباعى
١٥٩ – الإيديولوجية	ديفيد هوكس	ت : إبراهيم فتحى
١٦٠ – آلة الطبيعة	بول إيرليش	ت : حسين بيومى
١٦١ – من المسرح الإسبانى	اليخاندرو كاسونا وأنطونيو جالا	ت : زيدان عبد الحليم زيدان
١٦٢ – تاريخ الكنيسة	يوحنا الأسيوى	ت : صلاح عبد العزيز محجوب
١٦٣ – موسوعة علم الاجتماع ج ١	جوردون مارشال	ت بإشراف : محمد الجوهرى
١٦٤ – شامپوليون (حياة من نور)	چان لاكوتير	ت : نبيل سعد
١٦٥ – حكايات الثعلب	أ . ن أفانا سيفا	ت : سهير المصادفة
١٦٦ – العلاقات بين المتدينين والعلمانيين فى إسرائيل	يشعياهو ليڤمان	ت : محمد محمود أبو غدير
١٦٧ – فى عالم طاغور	رابندرانات طاغور	ت : شكرى محمد عياد
١٦٨ – دراسات فى الأدب والثقافة	مجموعة من المؤلفين	ت : شكرى محمد عياد
١٦٩ – إبداعات أدبية	مجموعة من المبدعين	ت : شكرى محمد عياد
١٧٠ – الطريق	ميغيل دليبيس	ت : بسام ياسين رشيد
١٧١ – وضع حد	فرانك بيجو	ت : هدى حسين
١٧٢ – حجر الشمس	مختارات	ت : محمد محمد الخطابى
١٧٣ – معنى الجمال	ولتر ت . ستيس	ت : إمام عبد الفتاح إمام
١٧٤ – صناعة الثقافة السوداء	ايليس كاشمور	ت : أحمد محمود
١٧٥ – التليفزيون فى الحياة اليومية	لورينزو فيلشس	ت : وجيه سمعان عبد المسيح
١٧٦ – نحو مفهوم للاقتصاديات البيئية	توم تيتنبرج	ت : جلال البنا
١٧٧ – أنطون تشيخوف	هنرى ترويا	ت : حصة إبراهيم منيف
١٧٨ – مختارات من الشعر اليونانى الحديث	نخبة من الشعراء	ت : محمد حمدى إبراهيم
١٧٩ – حكايات أيسوب	أيسوب	ت : إمام عبد الفتاح إمام
١٨٠ – قصة جاويد	إسماعيل فصيح	ت : سليم عبدالأمير حمدان
١٨١ – النقد الأدبى الأمريكى	فنسنت . ب . ليتش	ت : محمد يحيى

١٨٢ - العنف والنبوءة	و . ب . ييتس	ت : ياسين طه حافظ
١٨٣ - چان كوكتو على شاشة السينما	رينيه چيلسون	ت : فتحى العشرى
١٨٤ - القاهرة .. حالمة لا تنام	هانز إبندورفر	ت : دسوقى سعيد
١٨٥ - أسفار العهد القديم	توماس تومسن	ت : عبد الوهاب علوب
١٨٦ - معجم مصطلحات هيجل	ميخائيل أنوود	ت : إمام عبد الفتاح إمام
١٨٧ - الأرضة	بُزُرْج علَوى	ت : علاء منصور
١٨٨ - موت الأدب	الڤين كرنان	ت : بدر الديب
١٨٩ - العمى والبصيرة	پول دى مان	ت : سعيد الغانمى
١٩٠ - محاورات كونفوشيوس	كونفوشيوس	ت : محسن سيد فرجانى
١٩١ - الكلام رأسمال	الحاج أبو بكر إمام	ت : مصطفى حجازى السيد
١٩٢ - سياحتنامه إبراهيم بيك	زين العابدين المراغى	ت : محمود سلامة علاوى
١٩٣ - عامل المنجم	بيتر أبراهامز	ت : محمد عبد الواحد محمد
١٩٤ - مختارات من النقد الأنجلو - أمريكى	مجموعة من النقاد	ت : ماهر شفيق فريد
١٩٥ - شتاء ٨٤	إسماعيل فصيح	ت : محمد علاء الدين منصور
١٩٦ - المهلة الأخيرة	فالنتين راسبوتين	ت : أشرف الصباغ
١٩٧ - الفاروق	شمس العلماء شبلى النعمانى	ت : جلال السعيد الحفناوى
١٩٨ - الاتصال الجماهيرى	إدوين إمرى وآخرون	ت : إبراهيم سلامة إبراهيم
١٩٩ - تاريخ يهود مصر فى الفترة العثمانية	يعقوب لانداوى	ت : جمال أحمد الرفاعي وأحمد عبد اللطيف حماد
٢٠٠ - ضحايا التنمية	جيرمى سيبروك	ت : فخرى لبيب
٢٠١ - الجانب الدينى للفلسفة	جوزايا رويس	ت : أحمد الأنصارى
٢٠٢ - تاريخ النقد الأدبى الحديث جـ٤	رينيه ويليك	ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
٢٠٣ - الشعر والشاعرية	ألطاف حسين حالى	ت : جلال السعيد الحفناوى
٢٠٤ - تاريخ نقد العهد القديم	زالمان شازار	ت : أحمد محمود هويدى
٢٠٥ - الجينات والشعوب واللغات	لويجى لوقا كافاللى - سفورزا	ت : أحمد مستجير
٢٠٦ - الهيولية تصنع علمًا جديدًا	جيمس جلايك	ت : على يوسف على
٢٠٧ - ليل إفريقى	رامون خوتاسندير	ت : محمد أبو العطا عبد الرؤوف
٢٠٨ - شخصية العربى فى المسرح الإسرائيلى	دان أوريان	ت : محمد أحمد صالح
٢٠٩ - السرد والمسرح	مجموعة من المؤلفين	ت : أشرف الصباغ
٢١٠ - مثنويات حكيم سنائى	سنائى الغزنوى	ت : يوسف عبد الفتاح فرج
٢١١ - فردينان دوسوسير	جوناثان كلر	ت : محمود حمدى عبد الغنى
٢١٢ - قصص الأمير مرزبان	مرزبان بن رستم بن شروين	ت : يوسف عبد الفتاح فرج
٢١٣ - مصر منذ قدوم نابليون حتى رحيل عبد الناصر	ريمون فلاور	ت : سيد أحمد على الناصرى
٢١٤ - قواعد جديدة للمنهج فى علم الاجتماع	أنتونى جيدنز	ت : محمد محمود محى الدين
٢١٥ - سياحت نامه إبراهيم بيك جـ٢	زين العابدين المراغى	ت : محمود سلامة علاوى
٢١٦ - جوانب أخرى من حياتهم	مجموعة من المؤلفين	ت : أشرف الصباغ
٢١٧ - عولمة السياسة العالمية	جون بايلس وستيث سميث	ت : وجيه سمعان عبد المسيح
٢١٨ - رايولا	خوليو كورتازان	ت : على إبراهيم على منوفى

٢١٩ – بقايا اليوم	كازو ايشجورو	ت : طلعت الشايب
٢٢٠ – الهيولية فى الكون	بارى باركر	ت : على يوسف على
٢٢١ – شعرية كفافى	جريجورى جوزدانيس	ت : رفعت سلام
٢٢٢ – فرانز كافكا	رونالد جراى	ت : نسيم مجلى
٢٢٣ – العلم فى مجتمع حر	بول فيرابنر	ت : السيد محمد نفادى
٢٢٤ – دمار يوغسلافيا	برانكا ماجاس	ت : منى عبد الظاهر إبراهيم السيد
٢٢٥ – حكاية غريق	جابرييل جارثيا ماركث	ت : السيد عبد الظاهر عبد الله
٢٢٦ – أرض المساء وقصائد أخرى	ديفيد هربت لورانس	ت : طاهر محمد على البربرى
٢٢٧ – المسرح الإسبانى فى القرن السابع عشر	موسى ماريدا ديف بوركى	ت : السيد عبد الظاهر عبد الله
٢٢٨ – علم الجمالية وعلم اجتماع الفن	جانيت وولف	ت : مارى تيريز عبد المسيح وخالد حسن
٢٢٩ – مأزق البطل الوحيد	نورمان كيمان	ت : أمير إبراهيم العمرى
٢٣٠ – عن الذباب والفئران والبشر	فرانسواز جاكوب	ت : مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣١ – الدرافيل	خايمى سالوم بيدال	ت : جمال أحمد عبد الرحمن
٢٣٢ – مابعد المعلومات	توم ستينر	ت : مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣٣ – فكرة الاضمحلال	أرثر هيرمان	ت : طلعت الشايب
٢٣٤ – الإسلام فى السودان	ج. سبنسر تريمنجهام	ت : فؤاد محمد عكود
٢٣٥ – ديوان شمس التبريزى	جلال الدين مولوى رومى	ت : إبراهيم الدسوقى شتا
٢٣٦ – الولاية	ميشيل تود	ت : أحمد الطيب
٢٣٧ – مصر أرض الوادى	روبين فيدين	ت : عنايات حسين طلعت
٢٣٨ – العولمة والتحرير	الانكتاد	ت : ياسر محمد جاد الله وعربى مدبولى أحمد
٢٣٩ – العربى فى الأدب الإسرائيلى	جيلارافر – رايوخ	ت : نادية سليمان حافظ وإيهاب صلاح فايق
٢٤٠ – الإسلام والغرب وإمكانية الحوار	كامى حافظ	ت : صلاح عبد العزيز محمود
٢٤١ – فى انتظار البرابرة	ك. م كويتز	ت · ابتسام عبد الله سعيد
٢٤٢ – سبعة أنماط من الغموض	وليام إمبسون	ت : صبرى محمد حسن عبد النبى
٢٤٣ – تاريخ إسبانيا الإسلامية جـ١	ليفى بروفنسال	ت : مجموعة من المترجمين
٢٤٤ – الغليان	لاورا إسكيبيل	ت : نادية جمال الدين محمد
٢٤٥ – نساء مقاتلات	إليزابيتا أديس	ت : توفيق على منصور
٢٤٦ – قصص مختارة	جابرييل جرثيا ماركث	ت · على إبراهيم على منوفى
٢٤٧ – الثقافة الجماهيرية والحداثة فى مصر	وولتر أرمبرست	ت : محمد الشرقاوى
٢٤٨ – حقول عدن الخضراء	أنطونيو جالا	ت : عبد اللطيف عبد الحليم
٢٤٩ – لغة التمزق	دراجو شتامبوك	ت : رفعت سلام
٢٥٠ – علم اجتماع العلوم	دومنيك فينك	ت : ماجدة أباظة
٢٥١ – موسوعة علم الاجتماع ج ٢	جوردون مارشال	ت بإشراف : محمد الجوهرى
٢٥٢ – رائدات الحركة النسوية المصرية	مارجو بدران	ت : على بدران
٢٥٣ – تاريخ مصر الفاطمية	ل. أ. سيمينوفا	ت : حسن بيومى
٢٥٤ – الفلسفة	ديف روبنسون وجودى جروفز	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٥ – أفلاطون	ديف روبنسون وجودى جروفز	ت : إمام عبد الفتاح إمام

٢٥٦ – ديكارت	ديف روبنسون وجودى جروفز	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٧ – تاريخ الفلسفة الحديثة	وليم كلى رايت	ت : محمود سيد أحمد
٢٥٨ – الغجر	سير أنجوس فريزر	ت : عُبادة كُحيلة
٢٥٩ – مختارات من الشعر الأرمنى	نخبة	ت : ڤاروچان كازانچيان
٢٦٠ – موسوعة علم الاجتماع ج٣	جوردون مارشال	ت بإشراف : محمد الجوهرى
٢٦١ – رسالة الدكتوراه	زكى نجيب محمود	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٢٦٢ – مدير المدرسة	جلال آل أحمد	ت : عادل عبد المنعم سويلم
٢٦٣ – الكشف عن حافة الزمن	چون جريبن	ت : على يوسف على

(تحت الطبع)

- الجينات : الصراع من أجل الحياة .
- الثقافة والعولمة والنظام العالمى .
- مسرحيتان طليعيتان .
- الأصول الاجتماعية والثقافية لحركة عرابى .
- ت. س. إليوت شاعراً ومفكراً وناقداً .
- الفردوس الأعلى .
- المسرح الإسبانى فى القرن العشرين ج١ ، ج٢
- علم اللغة والترجمة .
- وسط الجزيرة العربية وشرقها ج١ ، ج٢
- فنون السينما .
- البدايات .
- رحلة خواجة حسن نظامى .
- السهل يحترق .
- رحلة إبراهيم بيك ج٣
- الأم والنصيب وقصص أخرى .
- السيدة باربارا .
- طبيعة العلم غير الطبيعية .
- سلطان الأسطورة .
- ديوان منجهرى الدامغانى .

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

رقم الإيداع ١٩٣٣٣ / ٢٠٠٠

المجلس الأعلى للثقافة

UNVEILING THE EDGE OF TIME
JOHN GRIBIN

ستظل أفلام الخيال العلمى تفتن الألباب ، طالما واصل العلم مفاجأة العقل البشرى بين الحين والآخر بنظريات تتناقض مع بديهياته ومنطقه. وفى كتابنا هذا يقدم المؤلف للقراء الأساس العلمى للعديد من الأفكار التى بنيت عليها أفلام الخيال العلمى ، ولكنه يبين - فى الوقت نفسه - أن ما فى جعبة العلم من نظريات خارقة للتصور البشرى تفوق أقصى ما يمكن أن يشطح إليه خيال الإنسان .

من ناحية أخرى ، يعرض هذا الكتاب أكثر ما أفرزه العلم الحديث من إثارة ، إنها الثقوب السوداء التى يثير ذكرها الذعر والهلع بقدرتها الهائلة على التهام كل من يقترب منها ؛ فهو يتتَّبع بزوغها كفكرة نظرية تأسست على نظرية نيوتن فى الجاذبية ، ثم أفَلَ نجمها لتعود حقيقةً علميةً مؤسسة على نظرية آينشتاين فى النسبية ، ولن نسبق الأحداث حتى لا نصادر على متعة القارئ وهو يجول فى غرائب الخيالات العلمية التى يعرضها الكتاب ، كل ما نوصى به هو ألا ينسى أن الأمر لم يُحسم بعد لصالح فكرة دون أخرى ، ولعله لن يحُسم على الإطلاق ، فما من باب يفتحه الإنسان على الطبيعة بُغية فهمها إلا وينفتح بدوره على أبواب من الألغاز ، وهو ما عبر عنه أحدهم بالقول : «كلما ازددت علمًا ازددت جهلاً» .

الغلاف: عماد حليم